

**НАЦІОНАЛЬНИЙ ТЕХНІЧНИЙ УНІВЕРСИТЕТ УКРАЇНИ
«КИЇВСЬКИЙ ПОЛІТЕХНІЧНИЙ ІНСТИТУТ
імені ІГОРЯ СІКОРСЬКОГО»
Факультет інформатики та обчислювальної техніки
Кафедра автоматики та управління в технічних системах**

«До захисту допущено»

Завідувач кафедри

_____ О.І. Ролік

«__» _____ 2019 р.

**Дипломний проект
на здобуття ступеня бакалавра
з напрямку підготовки 6. 050201 «Системна інженерія»
на тему: «Автоматизована система керування процес гартування робочих
частин викруток»**

Виконав:

студент IV курсу, групи ІА-51

Олійник Богдан Сергійович _____

Керівник:

зав.каф., д.т.н., проф. Ролік О.І. _____

Рецензент: _____

Засвідчую, що у цьому дипломному проекті
немає запозичень з праць інших авторів без
відповідних посилань.

Студент _____

Київ – 2019 рік

**Пояснювальна записка
до дипломного проекту
на тему: «Автоматизована система керування
процесом гартування робочих частин викруток»**

Київ – 2019 рік

ЗМІСТ

ВСТУП	5
1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ	6
1.1 Аналіз печей для термообробки	6
1.1.1 Камерні печі.....	6
1.1.2 Шахтні печі.....	7
1.1.3 Вакуумні печі.....	8
1.1.4 Конвеєрні печі опору безперервної дії	9
1.1.5 Штовхальні печі опору безперервної дії	11
1.1.6 Рольгангові печі опору безперервної дії.....	12
1.1.7 Карусельні печі опору безперервної дії.....	13
1.1.8 Барабанні печі опору безперервної дії.....	14
1.1.9 Протяжні печі опору безперервної дії	15
1.1.10 Струмкові печі опору безперервної дії.....	16
1.1.11 Тунельні печі опору безперервної дії.....	17
1.2 Аналіз викруток та їх модифікацій	18
2 ОПИС ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ	26
2.1 Загальний опис процесу виробництва викруток.....	26
2.2 Процес гартування	27
2.3 Вибір об'єкту автоматизації та його обґрунтування.....	29
2.4 Обґрунтування вибору конструктивних особливостей об'єкту автоматизації	30

					IA51.200БАК.005 ПЗ		
	Лист	№ докум.	Підпис	Дата			
Розроб.		Олійник Б. С.			Автоматизована система керування процесом гартування робочих частин викруток Пояснювальна записка		
Перевірив		Ролік О. І.					
Реценз.							
Н. контр.							
Затверд.							
					Літ.	Лист	Листів
						2	69
					НТУУ «КПІ ім. Ігоря Сікорського» ФІОТ група ІА-51		

2.5 Аналіз базових фізико-хімічних процесів в процесі гартування та відпуску сталі	31
3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПЕЧІ.....	36
4 МАТЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ	37
5 МОДЕЛЮВАННЯ В MATLAB/SIMULINK ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ..	41
5.1 Аналіз блоків функцій, в яких змодельовано термічні процеси	43
5.1.1 Блок нагріву	43
5.1.2 Блок охолодження.....	45
5.1.3 Блок відпуску.....	48
5.2 Аналіз блоків введення необхідних температур.....	50
5.3 Аналіз блоку умов переключення між процесами	51
5.4 Аналіз блоку виведення графіків.....	54
5.5 Розрахунок протяжності печі.....	56
6 ВИБІР ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ	58
6.1 Вибір контролера.....	58
6.2 Вибір аналогового модуля введення	59
6.3 Вибір аналогового модуля виведення.....	59
6.4 Вибір дискретного модуля введення.....	60
6.5 Вибір дискретного модуля виведення	61
6.6 Вибір мотору.....	62
6.7 Вибір датчика температури.....	63
6.8 Вибір деяких інших елементів.....	65
ВИСНОВОК	67
ПЕРЕЛІК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ.....	68

ВСТУП

З давніх часів люди постійно користуються інструментами для створення нових або ремонту вже існуючих благ цивілізації. Універсальним інструментом можна назвати ізолену, в чому є доля правди. Однак для викручування шурупів треба інші інструменти. Одним з таких є викрутка.

Викрутка дозволяє швидко та обережно закрутити та викрутити будь-який об'єкт з різьбою та шліцом. Для виконання цього завдання наразі є дуже багато викруток різних форм та розмірів в залежності від області застосування та фірм, які їх виробляють. Проте у всіх них є один недостаток, при тривалому використанні у викруток злизується робоча частина, що може призвести до зіпсування гвинтів, шурупів і тд.

Щоб уникнути недоліків викруток і прийнято рішення додати в процес виготовлення викруток етап гартування. Саме після гартування викрутки будуть мати достатню твердість. В той же час процес гартування може мати свої дефекти, такі як підвищена крихкість, недостатня твердість тощо. Тому вирішено ще й автоматизувати цей процес. Автоматизована система керування процесом гартування робочих частин викруток повинна на виході дати викрутку, яка буде мати підвищену міцність робочої частини, але в той же час залишити гнучкість решти викрутки; повинна уникнути дефектів, які можуть виникнути під час гартування в наслідок не дотримання точних умов процесу гартування.

1 АНАЛІЗ ІСНУЮЧИХ РІШЕНЬ

В цьому розділі вирішено оглянути печі, які використовуються для термообробки та безпосередньо викрутки та їх модифікації.

1.1 Аналіз печей для термообробки

Печі для термообробки відрізняються як за будовою, так і за типом нагрівання. В данному розділі не розглядається потужність та температура окремих видів печей, оскільки на даний момент на ринку існує багато різних варіантів всіх видів печей. Однак всі печі можуть підтримувати температуру на рівні 1200° С.

1.1.1 Камерні печі

Найпоширенішим варіантом печей для термообробки є камерна піч. Приклад таких печей наведено на рисунку 1.1. Такі печі є дешевими та підходять для всіх видів термообробки. Головною особливістю таких печей є те, що вони мають з одного боку (з можливою модифікацією – з двох сторін) герметичні двері, за допомогою яких можна зберегти максимальну кількість тепла всередині камери. Для зручності такі печі можуть мати висувний под [1].



www.opt-union.ru

Рисунок 1.1 – Приклад будови камерної печі

1.1.2 Шахтні печі

Наступним типом печей є шахтні печі. Прикладом печі є піч зображена на рисунку 1.2. Головна особливість шахтних печей є те, що загрузка матеріалу здійснюється зверху. Через це є можливість завантажувати за допомогою крану [1].



Рисунок 1.2 – Приклад будови шахтної печі

1.1.3 Вакуумні печі

Найбільш ефективним видом печей є вакуумні печі. Приклад таких печей наведено на рисунку 1.3. Головна особливість таких печей є тим, що матеріал під час термообробки не буде контактувати з кислородом. Через це можна уникнути викривлення деталей, деталь буде мати звичайний світлий металевий колір. Також в таких печах можна точно підтримувати температуру, відхилення не більше $\pm 5^{\circ}\text{C}$. Основним же недоліком таких печей є те, що деталі потрібно попередньо підготовлювати [1].



Рисунок 1.3 – Приклад будови вакуумної печі

Ще одним типом печей є печі опору безперервної дії. Такі печі можуть мати різні конструкції в залежності від того, який процес потрібно реалізувати на виробництві. Насамперед вони відрізняються по типу механізму переміщення виробів, які потрібно обробити. Основні види механізмів переміщення [2]:

- конвеєрні;
- рольгангові;
- барабанні;

- протяжні;
- штовхальні;
- карусельні;
- струмкові;
- тунельні.

Печі опору безперервної дії дозволяють поєднати декілька етапів виробництва в одну конвеєрну лінію. Вироби, які потрібно обробити, можна безперервно завантажувати в піч з однієї сторони, на виході ж також безперервно будуть виходити вже оброблені вироби. Це дозволяє як поєднувати такі печі в єдиний агрегат, так і зробити повністю автоматизовану систему. При об'єднанні печей в агрегат повинні мати однакову продуктивність, оскільки продуктивність всього агрегату буде дорівнювати продуктивності печі з найменшим показником. Печі опору безперервної дії можуть додатково комплектуватись камерами охолодження.

1.1.4 Конвеєрні печі опору безперервної дії

Найбільш поширеним типом печей опору безперервної дії є печі конвеєрного типу, які зображено на рисунку 1.4 [3]. Використовуються для термообробки малих або середніх деталей, але в великій кількості. Под печі представляє собою конвеєрну стрічку, яка натягнута між двома валами. Оскільки вали піддаються нагріву та через це швидко зношуються, іноді кінці конвеєру виносять за межі печі. Вироби кладуться на цю стрічку та проходять через всі зони обігріву або охолодження. Конвеєри можуть витримувати постійно температуру до 1200 К.

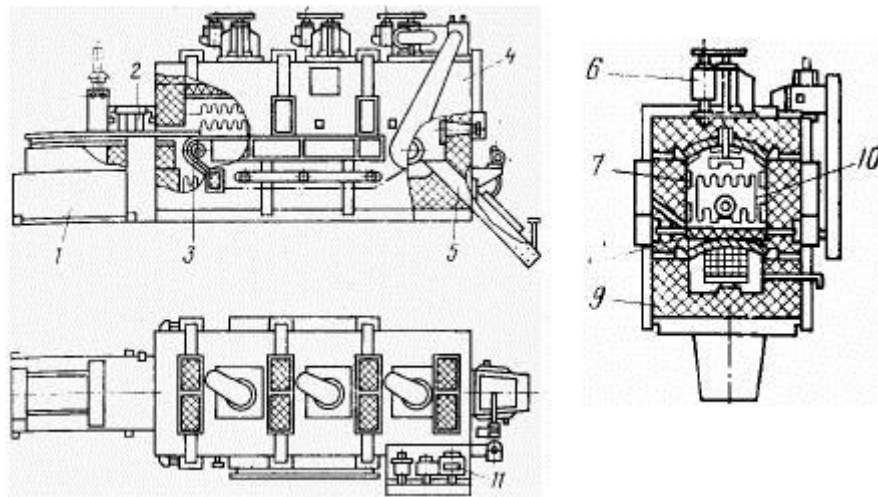


Рисунок 1.4 – Приклад будови горизонтальної конвеєрної печі: 1 – завантажувальний пристрій; 2 – форкамера зі шторками; 3 – конвеєрна стрічка; 4 – кожух; 5 – лоток; 6 – вентилятор; 7 – бічні нагрівачі; 8 – подові нагрівачі; 9 – футеровка; 10 – торцеві нагрівачі; 11 – привод конвеєра

Одним із варіантів реалізації конвеєрних печей є вертикальні конвеєрні печі [3]. В таких печах вироби підвішуються вертикально до конвеєру та проходять через камери печі. Однак через це є недоліки в тому, що потрібно використовувати додаткові пристрої для надійного кріплення виробів до самого конвеєру, та нерівномірне розподілення температури нагріву по висоті в печі. Такі печі використовують для термообробки виробів, які зручно розташувати в вертикальній печі.

Також одним поширеним варіантом конвеєрних печей є печі з підвісним конвеєром [3]. Такі печі легко можна встроювати в поточні лінії виробництва, оскільки шлях конвеєру поза камерами печі можна зробити будь-яким. Такі печі часто використовують для сушіння, випалювання виробів або других термічних процесів, яким не потрібно використання контрольованих атмосфер. Приклади будов таких печей зображено на рисунку 1.5.

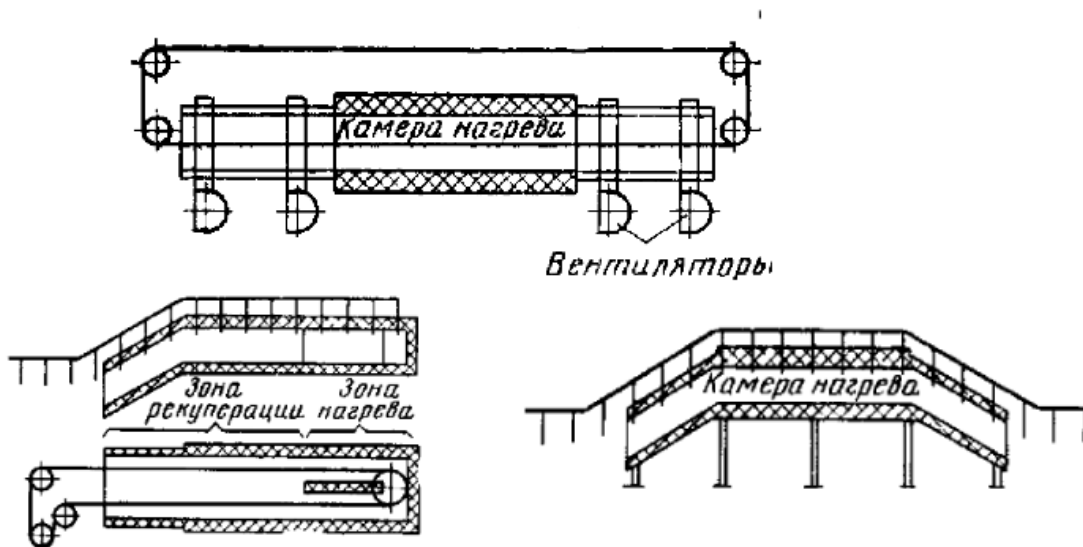


Рисунок 1.5 – Приклад будови печей з підвісним конвеєром

1.1.5 Штовхальні печі опору безперервної дії

Наступним типом печей є штовхальні печі [3]. Одним з варіантів будови таких печей наведено на рисунку 1.6. Їх використовують для термообробки малих та великих виробів до температури 1150°C . Як засіб пересування виробів використовуються піддони, які в свою чергу пересуваються по трубам, ролікам. Печі називаються штовхальними, оскільки пересування виробів в піддонах відбувається шляхом штовхання новим піддоном тих, що вже є всередині печі. Останній піддон, який уже пройшов процес термообробки або скочується по похилій площині, або забирається захватом на розвантажувальний стіл. Головним недоліком таких печей є те, що на нагрів самих піддонів витрачається до 25% теплоти. Через нагрів піддонів знижується їх зносостійкість, що призводить до додаткових грошових витрат на піддони. Також в печах такого типу є обмеження по довжині – не більше 10-12 м, через те, що буде неможливо пересувати піддони при більшій довжині.

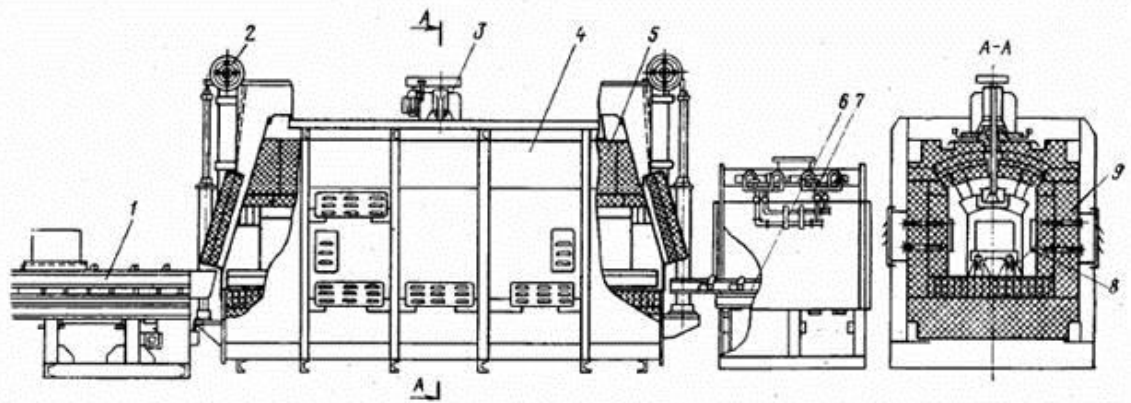


Рисунок 1.6 – Приклад будови штовхальної печі: 1 – штовхач; 2 – дверцята з механізмом підйому; 3 – вентилятор; 4 – кожух; 5 – футеровка; 6 – таскатель; 7 – камера охолодження; 8 – нагрівачі; 9 – рейковий шлях

1.1.6 Рольгангові печі опору безперервної дії

В рольгангових печах [3] пересування виробу відбувається за допомогою рольгангового поду. Приклад будови рольгангових печей зображено на рисунку 1.7. Рольганг це конвеєр, який складається з роликів, по яким переміщаються вантажі. Такі печі є універсальними, оскільки на рольганг можна завантажувати вироби будь-яких розмірів без додаткових приладів. Вироби завантажуються безпосередньо на рольганг або на спеціальні піддони.

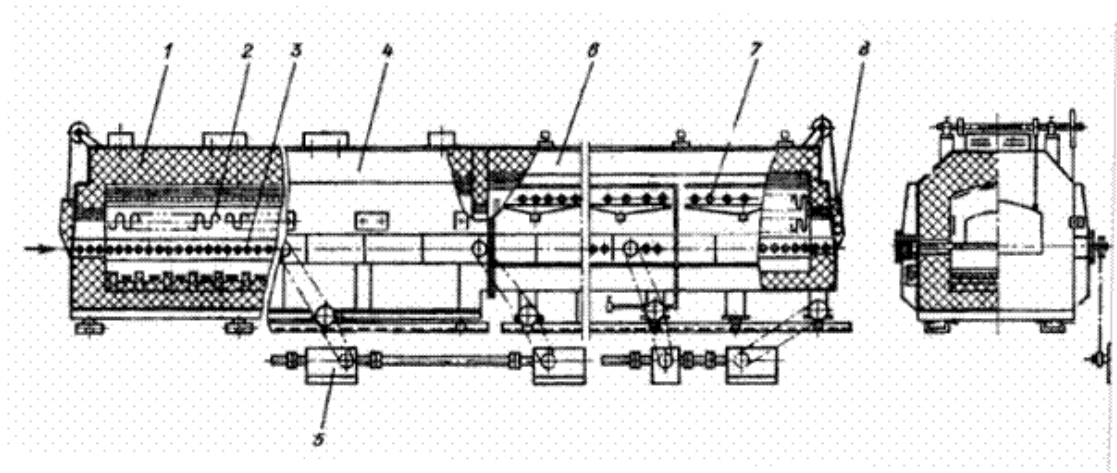


Рисунок 1.7 – Приклад будови рольгангових печей: 1 – футеровка; 2 – нагрівач; 3 – рольганг; 4 – кожух; 5 – привід рольгангу; 6 – камера охолодження; 7 – дверця

1.1.7 Карусельні печі опору безперервної дії

В карусельних печах [3] транспортування виробу здійснюється по кільцю. В таких печах можна оброблювати вироби складних будов без використання піддонів, що не завжди можливо в печах других конструкцій. Температуру можна тримати на рівні до 1300°C при великій завантаженості лінії, оскільки Однак їх недолік в тому, що завантажувальні і розвантажувальні отвори знаходяться поруч, через що можуть виникнути труднощі. Приклад будови карусельних печей зображено на рисунку 1.8.

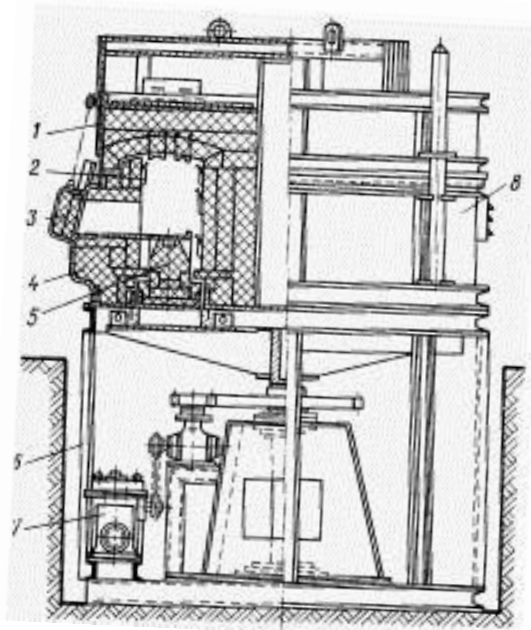


Рисунок 1.8 – Приклад будови карусельної печі: 1 – змінний звід; 2 – нагрівачі; 3 – дверцята; 4 – футеровка; 5 – обертальний под; 6 – рама; 7 – привід механізму; 8 – кожух

1.1.8 Барабанні печі опору безперервної дії

Барабанні печі в основному призначені для термообробки невеликих виробів (до 80мм) або порошкоподібних матеріалів [3]. Приклад будови таких печей зображено на рисунку 1.9. Переміщення виробів здійснюється за допомогою рухомого барабану-муфеля. Всередині муфеля знаходяться ребра, які розміщені по гвинтовій лінії по всій довжині з однаковим шагом. Можлива конструкція і без ребер, в данному випадку барабан буде розміщено під кутом від 1° до 5° до розвантажувального отвору. Перевагами таких печей є те, що вони не використовують будь-які додаткові технічні засоби для переміщення виробів, через це немає додаткових витрат теплоти; за допомогою постійного переміщення, всі вироби мають однакову температуру; легко будуються в автоматичних лініях. Недоліками ж є те, що такі печі мають обмежену довжину, та низьку продуктивність, через неможливість повного заповнення барабану.

Також вироби не повинні бути складної будови, оскільки вони в процесі термообробки можуть погнутись, зламатись тощо.

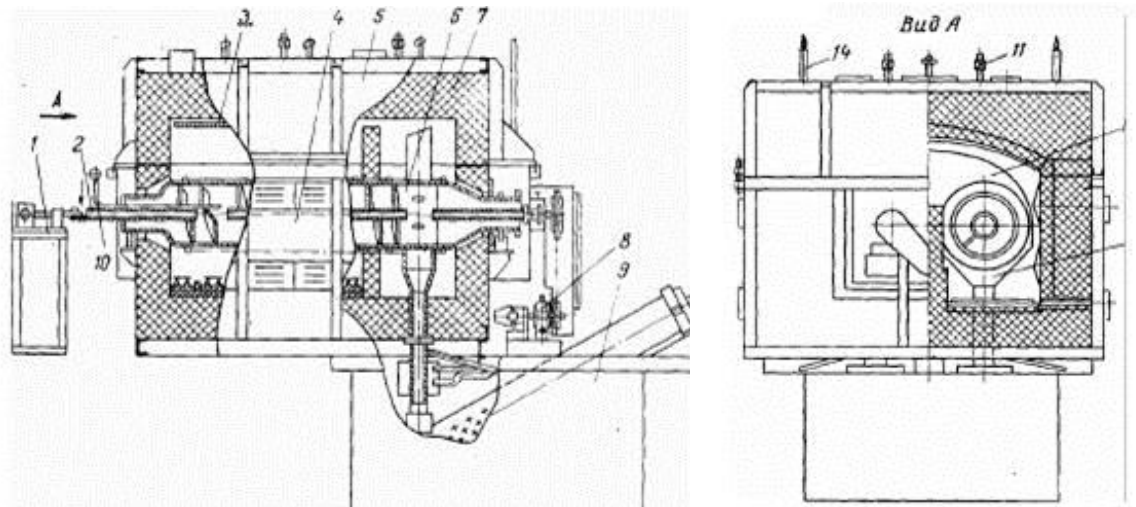


Рисунок 1.9 – Приклад будови барабанної печі: 1 – механізм завантаження; 2 – завантажувальний патрубок; 3 – нагрівачі; 4 – кожух; 5 – кришка; 6 – муфель; 7 – футеровка; 8 – привід муфеля; 9 – гартівний бак; 10 – газоподвод; 11 – воздухоподвод; 12 – парасолька; 13 – розвантажувальна воронка; 14 – свічка

1.1.9 Протяжні печі опору безперервної дії

Протяжні печі використовуються для термообробки труб, тонких листів, дроту тощо [3]. Приклад будови протяжних печей зображено на рисунку 1.10. Дані вироби проходять через піч за допомогою розмотувально-замотувальних пристроїв на її кінцях. Через це можна досягнути рівномірного нагріву виробів, на відміну від нагріву в рулонах. Недоліком же є те, що такі печі мають досить велику довжину, в порівнянні з іншими печами. Для покращення показників продливності та зменшення довжини печі роблять багатоповерховими, тобто ставлять камери нагріву одна над одною з послідовним проходженням через них. Також можна пропускати один виріб через одну камеру декілька разів; можна через одну камеру в один момент часу пропускати декілька виробів. Для

забезпечення нормального проходження виробів часто використовують муфелі або напрямні труби.

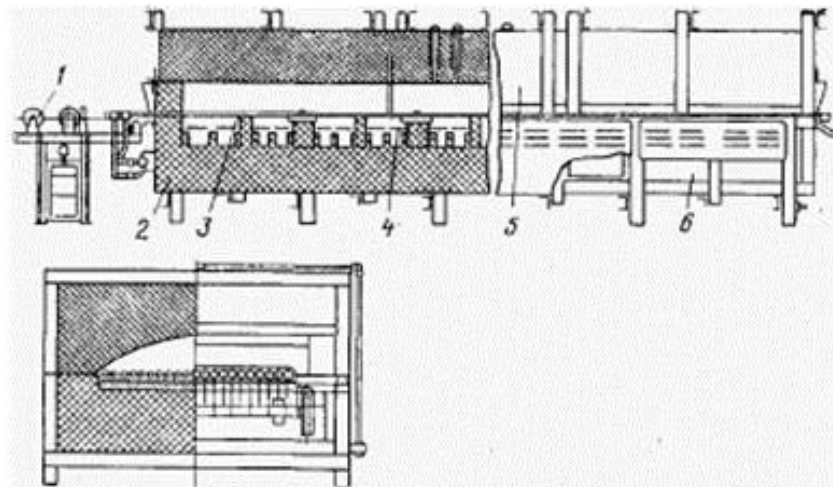


Рисунок 1.10 – Приклад будови протяжної печі: 1 – ролики; 2 – футеровка; 3 – муфель; 4 – нагрівачі; 5 – кришка; 6 – кожух печі з струмковим подом

1.1.10 Струмкові печі опору безперервної дії

Струмкові печі використовуються для термообробки виробів циліндричної або сферичної форми [3]. Приклад будови таких печей зображено на рисунку 1.11. Однак це і є головним недоліком даних печей, обмеження виробів по формі та по розмірам (вироби повинні мати розмір відповідний розмірам стумку печі). Також є труднощі з звільненням нутроців печі при її зупинці, оскільки оброблений виріб виштовхується на похилу площину тільки-но прибутими виробами. Також це є і перевагою, оскільки дані печі не потребують додаткових засобів для проходження виробів по печі; можна організувати поштучну видачу виробів з печі, наприклад під пресову установку. Под печі роблять в вигляді труб, напрямних рельс, що залежать від геометричних розмірів виробів. Іноді печі роблять багатострумкові.

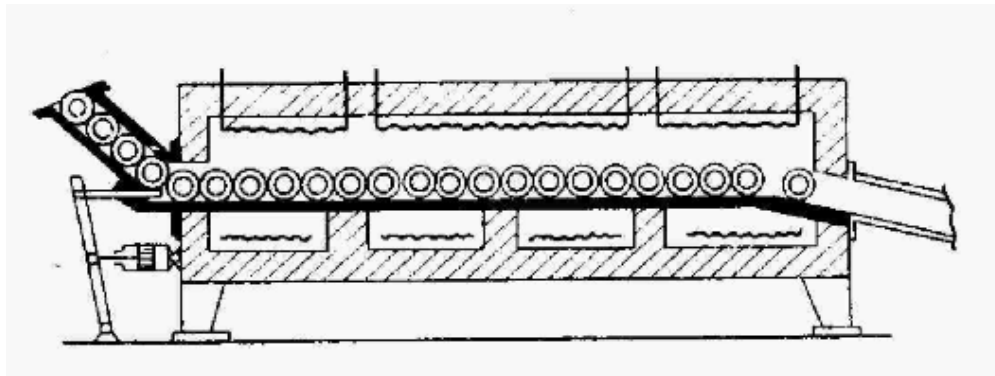


Рисунок 1.11 – Приклад будови струмкової печі

1.1.11 Тунельні печі опору безперервної дії

Головною особливістю тунельних печей є те, що вироби по печі перевозяться за допомогою візків [3]. Приклад будови тунельних печей зображено на рисунку 1.12. При цьому ходова частина візків та рейки відділені від зони найбільших температур футеровкой. Також такі печі мають велику продуктивність. В той же час візки з футеровкой є недоліком, оскільки на нагрів таких візків витрачається велика кількість тепла; також потрібні спеціальні механізми для повернення таких візків. Крім цього часті нагрівання та охолодження візків знижує їх термін використання, що призводить до грошових витрат. Часто такі печі роблять в три ряди, що дозволяє більш ефективно використовувати теплоту повітря. Бокові ряди пересуваються в протилежну сторону відносно центрального ряду, та з періодом в два рази меншим. Початкова стадія нагріву заправки проходить в бокових рядах, а кінцева в центральному ряду. При цьому частина теплоти від виробів центрального ряду передається в бокові ряди. Такий механізм передачі тепла називається рекуперацією теплоти.

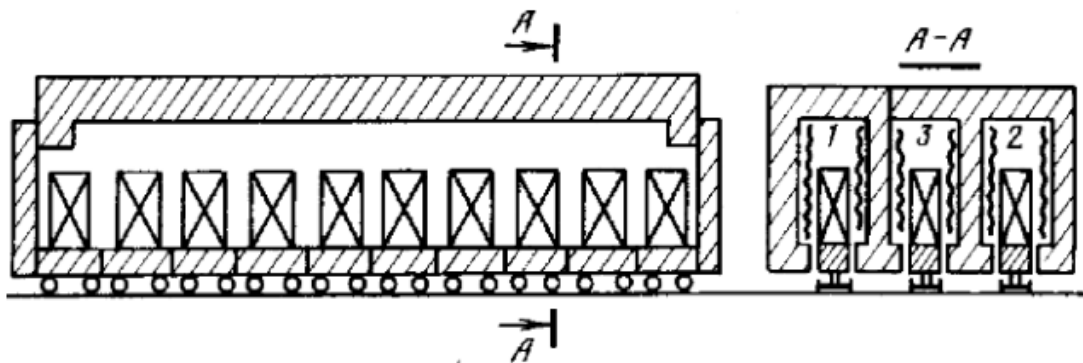


Рисунок 1.12 – Приклад будови тунельної печі з трима рядами

1.2 Аналіз викруток та їх модифікацій

Викрутка – це ручний слесарний інструмент, який складається з металевого стержня та дерев'яної або полімерної ручки [4]. Викрутки можуть відрізнятися за формою робочої частини, діаметром та довжиною металевого стержня, формою ручки, ізоляцією, призначенням та матеріалом, з якого вони виготовлені.

Матеріалом більшості викруток, які наразі представлені на ринку, є хромованадієва сталь. Однак це можна з достовірністю сказати лише про правдивих виробників, Маловідомі виробники можуть виробляти викрутки з сталі про яку з впевненністю можна сказати лише після хімічного дослідження.

Найбільш поширені викрутки з прямим шліцом[4]. Такі викрутки мають плоский накінецьник, який підходить до більшості виробів. Іноді такі викрутки використовують не за призначення, а щоб підцепити який-небудь важко доступний предмет малих розмірів. Такі викрутки маркуються символами SL. Представником такого типу викруток є Энергомаш Эксперт CrVSL6 x 100 мм, яка зображена на рисунку 1.13.



Рисунок 1.13 – Викрутка Энергомаш Эксперт CrVSL6 x 100 мм

Наступною формою викруток по популярності є хрестоподібні викрутки [4]. В той же час хрестоподібні шліци поділяються ще на два шліца: Phillips (PH) та Pozidrid (PZ). Основною відмінністю між цими двома шліцами є те, що викрутки з шліцом PZ мають додаткові напрямні, завдяки яким дані викрутки не виштовхуються самостійно під час повороту. Представником хрестоподібних викруток є Энергомаш PH1 x 200 мм, яка зображена на рисунку 1.14.



Рисунок 1.14 – Викрутка Энергомаш PH1 x 200 мм

Наступним видом викруток є викрутки з шестигранним шліцом (Hex). Для завинчування гвинтів з такою формою шліца треба прикласти менше зусиль чим до гвинтів з шліцами представленими раніше.

Інші шліци не є настільки популярні та використовуються в окремих галузях промисловості [4]. Зображення всіх найбільш популярних шліців наведено на рисунку 1.15.

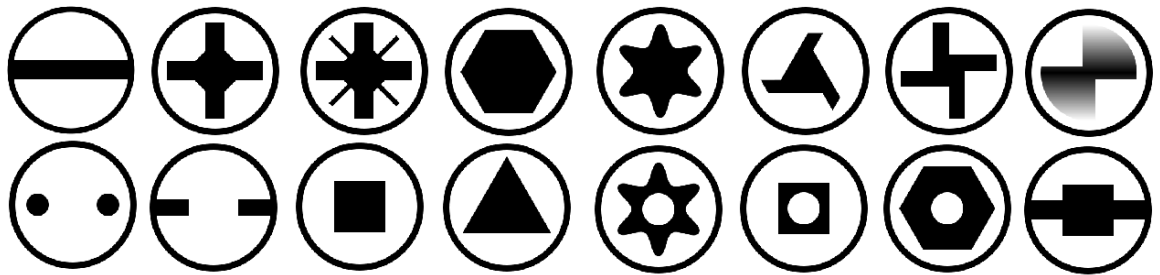


Рисунок 1.15 – Зображення шліців викруток

Також викрутки мають багато модифікацій конструкцій для зручного користування ними.

Викрутки з храповим механізмом [4], дозволяють викручувати або закручуватит деталь без необхідності змінювати хват на рукоятці. Прикладом такої викртутки є рисунок 1.16. Викрутки з даною модифікацією можуть вільно прокручуватись в одному з вибраних напрямків, що і дозволяє користуватись викруткою не змінюючи хвату. Напрям руху обирається перемикачем, який частіше всього виконаний у вигляді важеля, ползункового перемикача або муфти. При наявності центральне положення перемикача блокує вільне прокручування.



Рисунок 1.16 – Викрутка з храповим механізмом

Викрутки-вставки по своїй суті є універсальними викрутками, вони складаються з рукоятки та змінних насадок [4]. Ці змінні насадки (в народі називаються «бітами») з однієї сторони мають однакову форму для кріплення в викрутку, а з другої можуть мати всі можливі варіанти шліців та розмірів. Насадки також підходять для шурупокрутів, що збільшує їх популярність через універсальність. Фіксація даних насадок частіше всього здійснюється за допомогою магнітного держателя, рідше за допомогою цангового затискачу. Викрутка на рисунку 1.16 є також представником викруток-вставок з магнітним держателем, зправа внизу знаходяться «біти».

В середньому всі викрутки мають довжину стержня приблизно в рамках від 100 мм до 200 мм, але можна і зустріти викрутутки які мають як дуже велику довжину стержня, для роботи в тяжкодоступних місцях, так і мати мамлу довжину стержня, для роботи в вузьких місцях. Іноді короткі викрутки можуть складатись взагалі без стержня, мати тільки рукоятку та шліц, представником такої викрутки є викрутка на рисунку 1.17. Рідко можна зустріти викрутки в яких можна регулювати довжину стержня. Також для роботи в тяжкодоступних

місцях можна використовувати викрутки з гнучким валом або кутовою зубчатою передачею.



Рисунок 1.17 – Коротка викрутка PH2 x SL6 LICOTA

Іноді для зручності рукоятки викруток роблять в формі літери «Т» або «Г» [4]. За допомогою даної модифікації можна збільшити оберталтний момент, за допомогою чого працювати з викруткою можна з меншими зусиллями.

Бувають випадки коли для ефективної роботи потрібно вдарити по викрутці молтком. Для таких цілей є викрутки зі спеціальною частиною на рукоятці по якій можна вдарити без ризику розбити рукоятку [4]. Дана область є продовженням стержня, яке проходячи через рукоятку виступає з її протилежної сторони. Також коли і даний тип викруток не може допомогти викрутити заржавілий гвинт, то може допомогти ударно-поворотні викрутки, яка зображена на рисунку 1.18 [4]. Принцип дії ударно-поворотних викруток полягає в перетворенні ударної енергії в обертальний момент. За допомогою цього можна здвинути з місця гвинт, який, здавалось би, неможливо викрутити. За один удар викрутка повертається лише на 3 мм, але цього може бути достатньо, щоб здвинути гвинт з мертвої точки.



Рисунок 1.18 – Ударно-поворотна викрутка

Для роботи з чутливою апаратурою можна працювати за допомогою настроювальної викрутки, яка зображена на рисунку 1.19 [4]. Такі викрутки зроблені цілком з пластику або кераміки, що дозволяє уникнути наведення від руки. Данні викрутки часто роблять невеликих розмірів, для зручності користування. Також для роботи з електронікою рекомендується використовувати викрутки з діелектричним покриттям. Взагалі, вигляді це звичайні викрутки, але рукоятка та весь стержень, за винятком робочої частини, покритий діелектричним матеріалом.

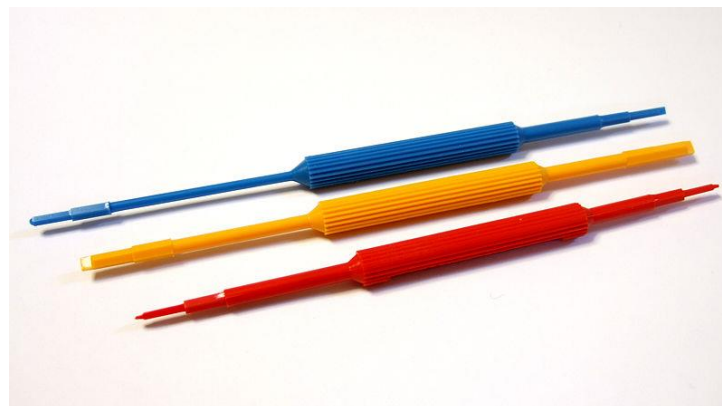


Рисунок 1.19 – Настроювальні викрутки

Для роботи з малими деталями також може підійти часові викрутки, яка зображена на рисунку 1.20 [4]. Головна особливість даних викруток полягає в

тому, що вони мають на рукоятці головку, яка обертається. Іноді такі викрутки можуть мати змінні насадки різних розмірів та зроблені під різні метвироби.



Рисунок 1.20 – Часова викрутка

Найбільш зручною модифікацією для викруток є шурупокрут, який зображено на рисунку 1.21 [4]. Шурупокрут дозволяє викручувати або закручувати метвироби з різними шліцями за допомогою всього однієї кнопки. Шурупокрути можуть бути або мережевими або акумуляторними, в них можна змінювати напрям та швидкість кручення. За допомогою патрону або тримача можна використовувати бідь-які «біти» або навіть свердла.



Рисунок 1.21 – Шурупокрут

Задвання всіх викруток та їх модифікацій представлених раніше є закручування та викручування метвиробів. Остання ж модифікація створена не для цього, а для оцінки наявності фази напруги на даній токонесучій ділянці. Викрутки даного типу називаються індикаторними викрутками, яка зображена на рисунку 1.22 [4]. Дана викрутка має діелектричне покриття по всіх довжині, окрім накінецьника та контактної кнопки на рукоятці, та не призначена для значних механічних навантажень. В побутовій електричній мережі використовують змінний струм з частотою 50-60 Гц, при цьому виникають електромагнітні хвилі. При контакті робочої частини викрутки з фазовим дротом, газорозрядна індикаторна лампа починає роботу по принципу конденсатору. На данному етапі не вистачає потіку електронів для повної іонізації простору між електродами, але при контакту пальця з контактною кнопкою виникає струм, який призводить до свічіння газорозрядної лампи. Свічіння лампи виникає через збільшення електронів, які проходять через лампу. Аналогічний принцип дії у викруток, в яких замість газорозрядної лампи використовується світлодіод. Для уникнення можливих летальних випадків перед контактною кнопкою послідовно встановлюється опір високої ємності. Тобто якщо при використанні викрутки на фазовому дроті дотронутись оголеною частиною тіла до заземленого предмету, то летальний випадок не наступить.



Рисунок 1.22 – Приклад використання індикаторної викрутки

2 ОПИС ОБ'ЄКТУ АВТОМАТИЗАЦІЇ

2.1 Загальний опис процесу виробництва викруток

Процес виробництва викруток в загальному своєму вигляді на різних заводах майже не відрізняється [5]. Першим етапом, як і на інших виробничих лініях, є вибір сировини, з якої буде зроблено стержень викрутки. В залежності від виду викрутки, вибирається металевий дріт потрібного діаметру. На данному етапі тип шліцу ніяк не впливає на вибір сировини та товщини дроту. Діаметр дроту вибирають від 1,2 мм до 10 мм. Більшість виробників матеріалом беруть хромованадієву сталь через її дешевизну, доступність та достатню твердість без термічної обробки.

Наступним етапом є придання майбутнім стержням потрібної довжини. Це досягається через пропускання сталевого дроту через різак. Довжину дроту роблять в межах від 10 мм до 40 мм, але довжина може варіюватись за межами цих рамок. Третім етапом є формування потрібного шліца. На рисунку 1.15 зображено найпоширеніші шліци викруток.

Після цього, по необхідності, стержні викруток шліфуються. По знайденій мною інформації шліфування стержнів викруток виконується вручну працівником з використанням шліфувальних дисків.

Завершальним етапом виготовлення стержнів для викруток може бути минулий, але іноді для вигляду на стержні наносять хромо-нікелеве покриття.

В той же час роблять другу невід'ємну частину викрутки – рукоятку. Данний процес може відрізнитись в залежності від матеріалу, форми, призначення. Найпростіші викрутки мають рукоятки з дерева, пластмаси та гуми, але можуть також бути з металу або будь якого іншого твердого матеріалу. В загальному ж вигляді процес виробництва можна поділити на такі етапи: вибір матеріалу, придання рукоятці потрібної форми. Форму рукояток вибирають зважаючи на можливу модифікацію викрутки, зручність у використанні.

Після виготовлення обох частей викруток їх з'єднують за допомогою пресу. Також важливим етапом виготовлення викруток є нанесення на них маркування щодо типу викрутки, матеріалу стержня, та власне маркування від виробника. Завершальним етапом виготовлення є упакування готових викруток в упаковку та постачання їх на продаж.

Даний процес виготовлення викруток представлено на кресленику ІА51.200БАК.005 Д1.

2.2 Процес гартування

Гартування – це один з видів термічної обробки металів, яка полягає в нагріванні матеріалу до температури, яка вище на декілька градусів від критичної точки, і швидкого охолодження. В загальному вигляді процес гартування сталі проходить в два етапа: нагрівання сталі до критичної температури та охолодження; проте часто після гартування проводять ще процес відпуску сталі. В результаті гартування сталь стає більш твердою та міцною [6].

В залежності від складу сталі та необхідних властивостей кінцевого продукту обирається температура до якої потрібно нагріти матеріал. Температура гартування може варіюватися від 600° С до 1200° С. Так наприклад для деталей з складною формою рекомендується вибирати низькі температури.

Охолодження нагрітої сталі потрібно проводити в спеціальному середовищі в залежності від виду сталі та температури нагрівання. Середовищем охолодження можуть бути вода, розчин гідроксиду натрію (NaOH), розчин солі, масло, селітра та навіть кисень. Температуру середовища рекомендується тримати в межах 20° С – 60° С, згідно з риснком 2.2, [7], але знову ж таки може варіюватися від технології виробництва.

Марка стали	Температура нагріву при закалке, °C	Среда охолодження	Температура среды охлад-дения, °C
У9, У9А	780—810	Вода, масло	20—30
У10, У10А	770—800	« «	20—30
85ХФ	800—840	Масло	50—60
9ХС	860—870	«	50—60
Х12	800—840	«	50—60
ХВТ	820—830	«	50—60
9Х5ВФ	1000—1050	«	50—60
ХВ5	900—1000	«	50—60
Р9	1230—1250	Селитра	400—450
Р18	1250—1300	«	400—450

Рисунок 2.2 – Рекомендовані значення температури та середовища охолодження в залежності від виду сталі

Відпуск сталі – це процес повторного нагрівання сталі до меншої температури під час якого відбувається розпад мартенситу [8]. Результатом відпуску сталі є покращення деяких характеристик сталі, такі як пластичність, крихкість та в'язкість, але зменшується твердість. В загальному відпуск можна поділити на три види: низький, середній та високий відпуски. В залежності від виду відпуску по різному змінюються характеристики сталі, як зображено на рисунку 2.3 [9].

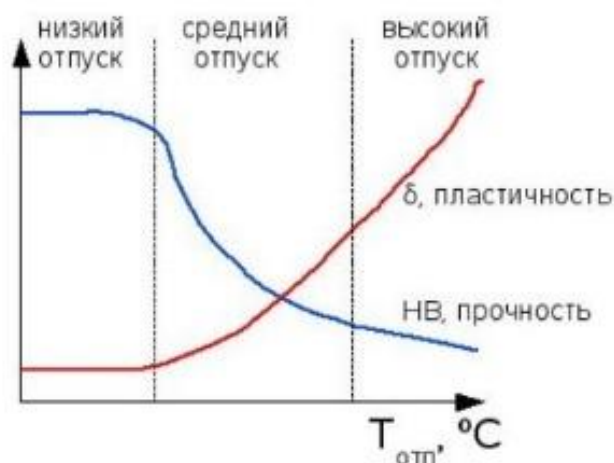


Рисунок 2.3 – Відношення твердості та пластичності сталі в залежності від типу відпуску

Низькотемпературний відпуск проводять при температурах від 150°C до 250°C. При такому типі відпуску частково зменшуються внутрішні напруження сталі за рахунок незначного зменшення твердості.

Середньотемпературний відпуск проводять при температурах від 300°C до 450° С. При такому типі відпуску доволі сильно покращується в'язкість сталі за рахунок достатнього зменшення твердості. Часто такий вид відпуску проводять для пружин та деталей ресорного типу.

Високотемпературний відпуск проводять при температурах від 500°C до 650°C. Такий тип відпуску майже повністю усуває внутрішні напруження та забезпечує високою ударною в'язкістю, при том залишається доволі висока твердість сталі. Через це іноді такий тип відпуску називають покращенням сталі. Частіше всього його застосовують для деталей машин.

2.3 Вибір об'єкту автоматизації та його обґрунтування

Для виконання дипломного проекту вирішено додати в процес виготовлення стержня для викруток процес гартування їх робочих частин. Оскільки існує проблема псування робочих частин викруток при довготривалому (а іноді не дуже) користуванні викруток. Приклад таких викруток зображено на рисунку 2.4.



Рисунок 2.4 – Приклад зіпсованої викрутки

Також вирішено автоматизувати цей процес, оскільки невірно підібрана температура, час тримання під час нагрівання та охолодження може призвести як до часткового псування виробу (гнуття виробу, незадовільна твердість) так і до повного псування (окислення сталі, утворення тріщин, підвищена крихкість). Також головною перевагою автоматизації процесу гартування є уникнення безпосереднього втручання в процес людей, завдяки чому можна уникнути нещасних випадків.

В рамках даного дипломного проекту буде розроблено автоматизована система керування послідовними процесами гартування (нагрів та охолодження) та відпуску сталі.

2.4 Обґрунтування вибору конструктивних особливостей об'єкту автоматизації

Найважливішим моментом в створенні автоматичної системи керування процесом гартування є вибір печі, в якій буде проходити цей процес. Всі найбільш поширені види печей для термообробки металів представлено в підрозділі 1.1. Оскільки темою даного дипломного проекту є часткове гартування викруток то більшість печей не підходять по тій причині, що в них відбувається термообробка всіх частей виробу. Однак серед них є піч, яка може підійти під таку задачу, а саме піч опору безперервної дії з підвісним конвеєром. Вирішено взяти за основу саме таку піч, але трохи модифіковану.

Піч для даної автоматизованої системи буде складатися з трьох ділянок, а саме: зона нагрівання, зона охолодження в маслі та зона відпуску. Конвеєр буде тримати викрутки як в горизонтальній, так і в вертикальній площині. В горизонтальній площині викрутки будуть знаходитись в зоні нагріву та зоні відпуску, безпосередньо в камерах печей буде знаходитись тільки робоча частина викруток, яку потрібно загартувати. В вертикальній площині викрутки будуть знаходитись під час охолодження в маслі, знову ж таки безпосередньо в маслі будуть знаходитись тільки робочі частини викруток.

2.5 Аналіз базових фізико-хімічних процесів в процесі гартування та відпуску сталі

Під час гартування сталі, як вже сказано, проводиться нагрівання та охолодження сталі. Нагрівання сталі проводять до температури, яка більше критичної точки A_{c3} на декілька десятків градусів. Критична точка A_{c3} означає, що проводиться нагрів (літера «с» в назві) з переводом сталі з феритної та цементитної фаз в аустенітну фазу. Дана точка характеризується лініями GS та SE на фазовій діаграмі залізо-вуглець, яка зображена на рисунку 2.5 [10]. Дана діаграма не є повною, а відображає лише ділянку, яка нас цікавить.

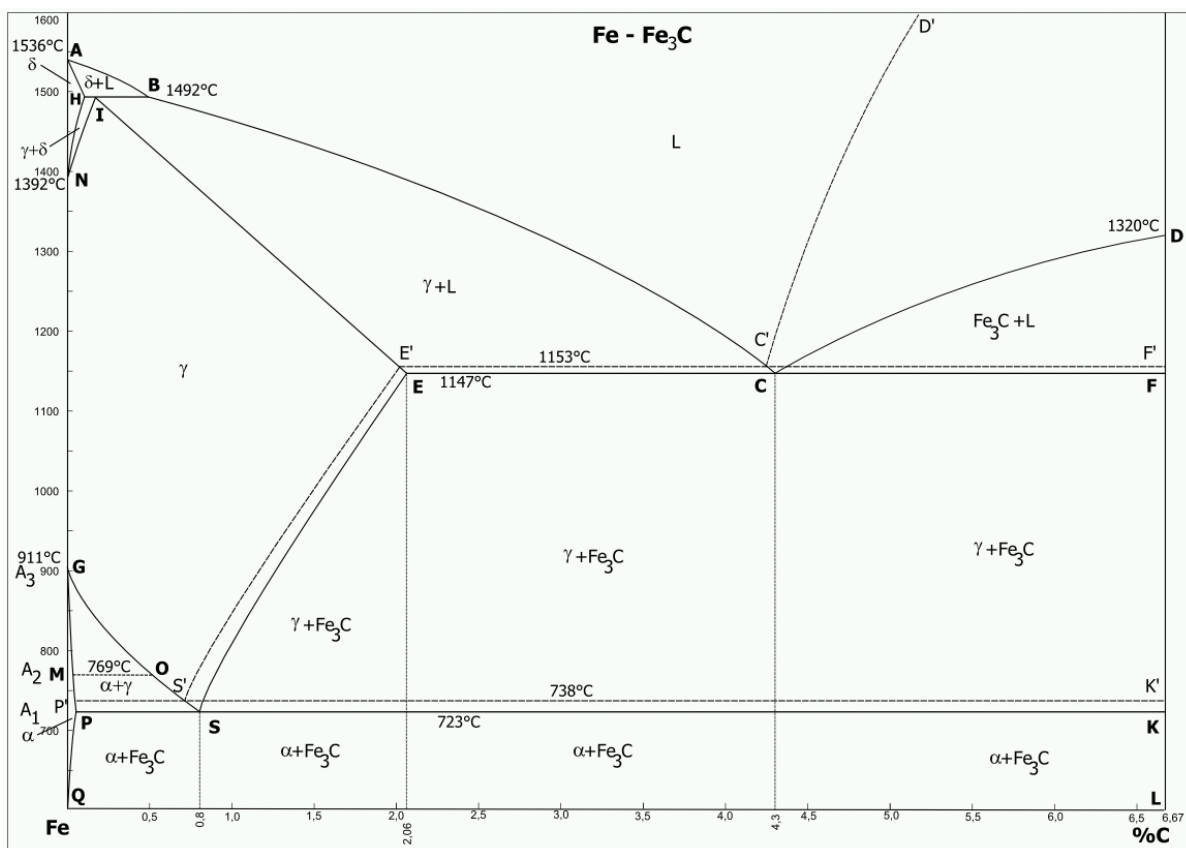


Рисунок 2.5 – Фазова діаграма залізо-вуглець

Аустеніт або γ -фаза характеризується високою тривкістю, міцністю, але зниженою пружністю [11]. Кристалічна структура аустеніту характерна тим, що атоми вуглецю розташовані в міжвузлових положеннях. На рисунку 2.6

зображено схематично розташування атомів заліза (сірі) та вуглецю (сині) в кристалічній ґратці аустеніту.

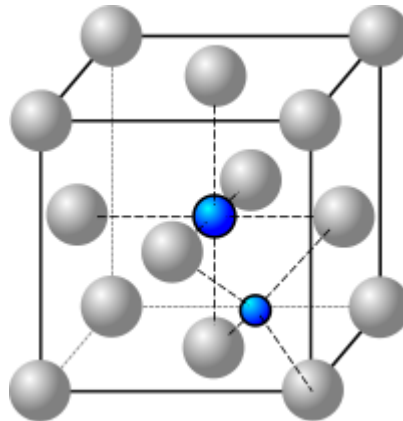


Рисунок 2.6 – Схематичне зображення кристалічної ґратки аустеніту

Наступним етапом гартування сталі є її охолодження. Згідно з рисунком 2.5 аустеніт (γ -фаза) може існувати лише при високих температурах, але має потрібні показники твердості та міцності. Саме тому потрібне охолодження. При швидкому охолодженні сталі в аустенітній фазі утворюється метастабільна фаза – мартенсит. Мартенсит це перенасичений твердий розчин вуглецю в α -залізі. Мартенсит утворюється при мартенситовому переході, коли атоми заліза не встигають перейти в інші стани. Оскільки мартенсит це метастабільна фаза, тому його немає на фазовій діаграмі залізо-вуглець. В такому стані сталь, як і в стані аустеніту, має високу твердість, міцність, але низьку пружність та пластичність. Мартенсит може існувати при низьких температурах тому при утворенні мартенситу можна вважати процес гартування завершеним.

Щоб зменшити недоліки при гартуванні проводять відпуск сталі. Відпуск сталі проводять тільки для сталей, які знаходяться в мартенситовій фазі, тобто загартовані. При відпуску проходить процес розпаду мартенситу. На рисунку 2.7 показано характеристики сталі після відпуску в залежності від його температури.

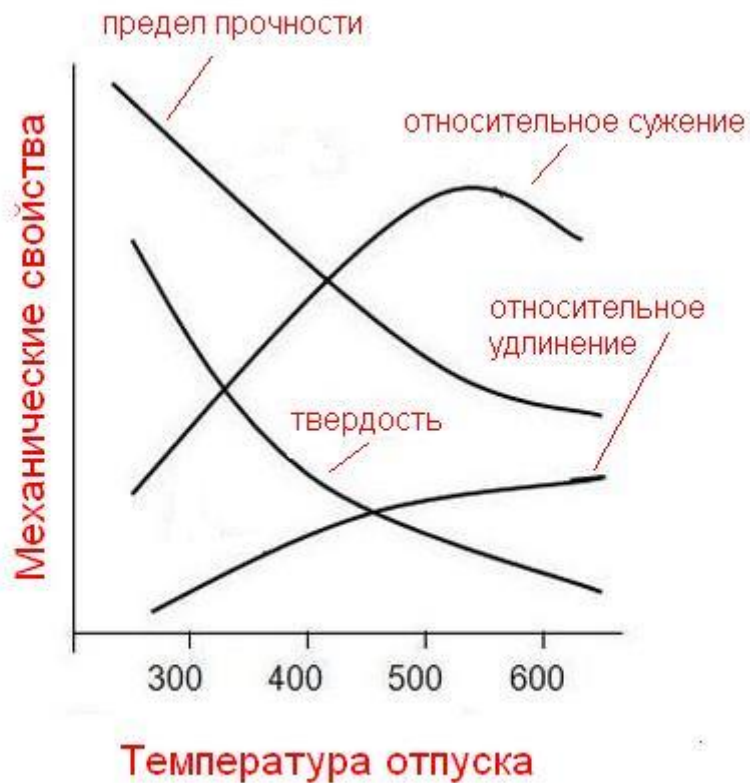


Рисунок 2.7 – Залежність характеристик сталі від температури відпуску

Під час низькотемпературного відпуску мартенсит перетворюється в мартенсит відпуску та залишковий аустеніт відпуску також перетворюється в мартенсит відпуску. Через це знижуються внутрішні напруження, а міцність не змінюється.

При середньотемпературному відпуску мартенсит розпадається на ферито-цементитну структуру. Структура сталі складається з рівноважного фериту та дисперсних включень цементиту, таку структуру називають трооститом відпуску. В даному стані сталь має високу пружність, витривалість і достатню твердість в межах від 40 до 50 HRC.

Під час високотемпературного відпуску утворюється структура сорбіту відпуску. Така структура характеризується майже повним зниженням внутрішніх напружень, які виникли під час гартування. При цьому підвищуються межі

текучості, міцності, ударної в'язкості в порівнянні з необробленою сталлю. Саме через це такий відпуск називають «покращенням сталі».

При підвищенні температури відпуску сталь проходить всі етапи більш низьких температур відпуску. Тобто, при високотемпературному відпуску сталь проходить низько- та середньотемпературний відпуск. Троостит та сорбіт відпуску мають однакову структуру ферит+цементит, але відрізняються дисперсністю фериту та цементиту.

Також під час відпуску можливе явище відпускнуї крихкості, як зображено на рисунку 2.8 [12], при якому значно знижується ударна в'язкість сталі. Воно поділяється на крихкість І-го роду і ІІ-го роду в залежності від температури. Крихкість І-го роду можлива при відпуску з температурою від 250 °С до 400 °С. Даний вид крихкості є необоротним, тобто при повторному процесі відпуску даних дефект неможливо виправити. Данному виду крихкості підвладні всі види сталі з легуванням хромом, магнієм та нікелем або їх поєднаннями. Це обумовлено тим, що під час відпуску відбувається неоднорідне виділення карбідів з мартенситу. Крихкість ІІ-го роду модлива при відпуску при температурах від 500 °С до 550 °С. Даному виду крихкості підвладні ті ж самі види легованої сталі при повільному охолодженні після відпуску. При повільному охолодженні відбувається дифузія фосфору до кордонів зерна, через що прикордонні зони збагачуються фосфором. Тобто такий вид крихкості можливо уникнути при швидкому охолодженні після відпуску, також його можна виправити при повторному відпуску з швидким охолодженням. З логічних міркувань виробу які підвладні такому роду крихкості не можна використовувати при температурах від 500 °С до 550 °С.

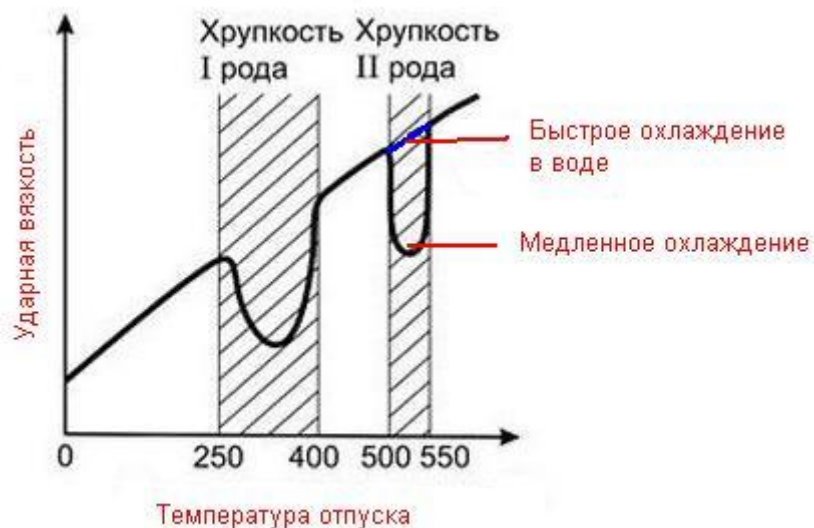


Рисунок 2.8 – Залежність ударної в'язкості від температури відпуску

Саме зважаючи на фізико-хімічні властивості обрано використовувати сталь У10. Хромованадієву сталь не обрано через її схильність до крихкості під час відпуску. Критична точка A_{c3} для сталі У10 дорівнює $800\text{ }^{\circ}\text{C}$, тому обрано температуру до якої треба розігріти виріб $810\text{ }^{\circ}\text{C}$. Охолодження буде проводитись в маслі, температура якого буде рівна $60\text{ }^{\circ}\text{C}$. Лінія утворення мартенісу M_n для сталі У10 дорівнює $210\text{ }^{\circ}\text{C}$, обрано температуру до якої треба охолодити виріб в $190\text{ }^{\circ}\text{C}$. Для викруток потрібна доволі висока твердість та достатня в'язкість та пластичність, тому обрано здійснити середньотемпературний відпуск; температуру обрано в $340\text{ }^{\circ}\text{C}$.

3 РОЗРОБКА СТРУКТУРНОЇ СХЕМИ ПЕЧІ

При проектуванні данного дипломного проекту вирішино розробити функціональну схему. Але так як з нуля розроблювати функціональну схему великої АСУ ТП є або надто важко або навіть неможливо. Тому вирішено розробити структурну схему безпосередньо процесу гартування.

Структурну схему печі вирішено поділити на три частини: зона нагріву, зона охолодження та зона відпуску. На кресленику піч показана умовно та розбита на три частини, а саме:

- піч нагріву;
- резервуар з маслом;
- піч відпуску.

На кресленику також умовно зображено конвеєр, який проходить через всі три етапи печі. Керування швидкістю руху конвеєру здійснюється через контролер окремо.

Зона нагріву включає в себе контроль температури та газові горелки. За допомогою газових горелок виконується нагрів та підтримування рівня температури. Температура в печі вимірюється за допомогою електричного термоперетворювача.

Зона охолодження складається з вимірювання температури масла та контролю його текучості. Температура підтримується за допомогою охолоджувальної системи. Під текучістю мається на увазі повна зміна вмісту резервуару протягом деякого часу.

Зона відпуску представлена контролем температури повітря в печі та електричним тенем. Контроль температури також представлений електричним термоперетворювачем. Однак нагрів повітря та підтримування його рівня здійснюється за допомогою електричного тону.

Готова структурна схема печі для гартування представлена на кресленику IA51.200БАК.005 Э1.

4 МАТЕМАТИЧНІ РОЗРАХУНКИ ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ

Одним з найголовнішим фактором в процесі гартування є витримання потрібного часу виробу під час нагрівання і охолодження та досягнення потрібних температур. Оскільки потрібні температури обрані в минулому розділі залишається тільки розрахувати потрібний час.

Для данного дипломного проекту можна представити стержень викрутки в формі циліндру. Нагріву буде піддаватись не вся частина стержня, тому для математичних обрахунків візьмемо лише частину циліндра, яка буде піддаватись термообробці. Ця частина буде мати також форму циліндру та матиме наступні розміри:

- висота циліндру l , 22 мм;
- радіус основи циліндру d , 10 мм.

В данній математичній моделі повні розміри циліндру не мають значення, оскільки він не буде приймати участь в процесі термообробки.

Матеріалом циліндру є сталь У10, яка має густину ρ 7810 кг/м³. Оскільки на данний момент є розміри та матеріал об'єкту, то масу можна знайти наступним чином:

$$m = \rho V, \quad (4.1)$$

де m – маса;

ρ – густина;

V – об'єм.

В свою ж чергу об'єм циліндру можна знайти за наступною формулою:

$$V = \pi R^2 l, \quad (4.2)$$

де R – радіус циліндру;

l – довжина циліндру.

На данному етапі відомі значення всіх змінних для обрахування маси. Для початку обрахуємо об'єм за формулою (4.2), а потім це значення підставимо в формулу (4.1):

$$V = 3.14 \cdot \left(\frac{0.01}{2}\right)^2 \cdot 0.022 = 0.000001727 \quad (4.3)$$

$$m = 7810 \cdot 0.000001727 = 0.013487 \quad (4.4)$$

При нагріванні або охолодженні тіла відбувається зміна його кількості тепла $Q(t)$ та зв'язно його температури $\tau(t)$. Для визначення взаємозв'язку між кількістю температури $Q(t)$ та температурою $\tau(t)$ скористаємося визначенням питомої теплоємності:

$$c = \frac{Q(t)}{m\tau(t)}, \quad (4.5)$$

де c – питома теплоємність.

В свою ж чергу кількість тепла, яке тіло отримує або віддає, в залежності від теплового процесу, залежить від потужності $P(t)$ сил, які діють на данне тіло. В найпростішому вигляді потужність $P(t)$ представлена лише потужністю нагрівача або охолоджувача, але в загальному вигляді слід вважати її сумою всіх потужностей, які діють на тіло, з відповідним знаком. Тобто потужність нагрівача потрібно брати з додатнім знаком, а потужність охолоджувальної сили потрібно брати з від'ємним знаком.

$$P(t) = P_{\text{дод}}(t) - P_{\text{від}}(t) \quad (4.6)$$

де $P(t)$ – сума всіх потужностей;

$P_{\text{дод}}(t)$ – потужність нагрівання;

$P_{\text{від}}(t)$ – потужність охолодження.

В системі керування, яка розроблюється в рамках даного дипломного проекту, немає безпосереднього теплообміну з джерелами теплоти. Для процесу нагріву теплообмін робочих частин викруток проходить з повітрям, яке в свою чергу вже вважається нагрітим до потрібної температури; для процесу охолодження теплообмін буде проходити, в данному випадку, з маслом потрібної температури. Тобто потужність нагрівання $P_{\text{дод}}(t)$ в такому випадку рівна нулю і формула (4.6) набуває наступного вигляду:

$$P(t) = -P_{\text{від}}(t) \quad (4.7)$$

Тепловий потік між навколишнім середовищем та об'єктом характеризується відвідною потужністю $P_{\text{відв}}(t)$; вона буде додатньою при $\tau > \tau_{\text{навк}}$, від'ємною при $\tau < \tau_{\text{навк}}$. В данній моделі потужністю охолодження $P_{\text{від}}(t)$ виступає лише відвідна потужність $P_{\text{відв}}(t)$. Кінцева формула сумарної потужності має вигляд:

$$P(t) = -P_{\text{відв}}(t) \quad (4.8)$$

де $P_{\text{відв}}(t)$ – відвідна потужність.

Відвідна потужність характеризується коефіцієнтом теплопровідності α та залежить від температури навколишнього середовища:

$$P_{\text{відв}}(t) = \alpha \cdot \Delta\tau(t) \quad (4.9)$$

$$\Delta\tau(t) = \tau(t) - \tau_{\text{навк}}(t) \quad (4.10)$$

де α – коефіцієнт теплопровідності;

$\tau(t)$ – температура тіла термообробки;

$\tau_{\text{навк}}(t)$ – температура повітря.

Так як в данному дипломному проєкті перехід між етапами гартування відбувається по досягненні потрібної температури, то досліджуваною величиною буде температура. Виразимо температуру з формули (4.5):

$$\tau(t) = \frac{Q(t)}{cm}. \quad (4.11)$$

Для отримання кінцевої формули залежності температури $\tau(t)$ від кількості теплоти $Q(t)$ та фізичними властивостями деталі сористаємося формулами (4.1), (4.2) та (4.11):

$$\tau(t) = \frac{Q(t)}{\rho V c} = \frac{Q(t)}{c \rho \pi R^2 l}. \quad (4.12)$$

Кількість тепла $Q(t)$ можна отримати шляхом інтегрування сумарної потужності $P(t)$ за часом з урахуванням початкового тепла об'єкту $Q_0(t)$ [14]:

$$Q(t) = Q_0(t) + \int_0^t P(t) dt. \quad (4.12)$$

5 МОДЕЛЮВАННЯ В MATLAB/SIMULINK ТЕПЛОВОГО ПРОЦЕСУ

Формули та розрахунки, які були приведені в минулому розділі, є досить важкими для обчислення самостійно. Тому прийнято рішення про моделювати тепловий процес за допомогою програмного забезпечення. Для моделювання обрано пакет програм Matlab/Simulink, оскільки в ньому можна про моделювати майже будь-який процес. Головне вікно пакету програм Matlab/Simulink зображено на рисунку 5.1. В Matlab/Simulink для зручності можна, щоб не моделювати все в одному вікні, розбити частину програми на підпрограми та виконувати їх по необхідності. Також в Matlab/Simulink є можливість вставляти блоки C/C++ коду. Головною ж перевагою даного пакету програм є графічне представлення протікання процесів.

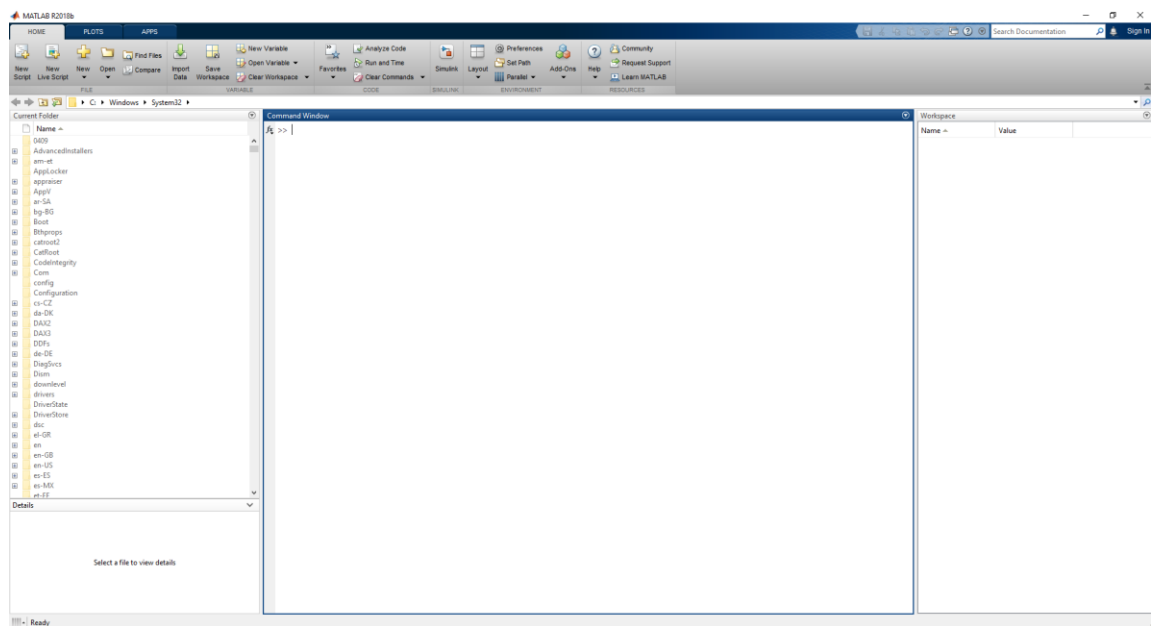


Рисунок 5.1 – Головне вікно Matlab

Для даного ж дипломного проекту головною перевагою є можливість графічного представлення теплового процесу в залежності від часу та обчислення математичних формул, важких для обрахунку вручну. При наявності такого графіку з'являється можливість розрахувати адекватну довжину печі та окремі її частин. Також якщо вже піч побудована, відома її протяжність і є можливість

змінювати деякі параметри, такі як швидкість руху конвеєру та/або контроль температури, можна дослідити наскільки треба змінити ці ж параметри для виготовлення трохи другої продукції.

Для моделювання прийнято рішення розбити весь процес термообробки на три окремі незалежні процеси: процес нагрівання, процес охолодження, процес відпуску. Кожен з цих процесів змодельовано окремо та в кінці об'єднано для можливості загального аналізу всієї системи.

Нижче в таблиці 5.1 представлені числові значення параметрів потрібні для моделювання теплового процесу системи автоматичного керування в пакеті програм Matlab/Simulink. Для реалізації математичної моделі використаємо формули приведені в розділі 3. Загальна схема всієї моделі представлена на кресленіку IA51.200БАК.005 Д2.

Таблиця 5.1 – Параметри теплового процесу

Назва параметру	Числове значення
Довжина робочої частини викрутки l , м	0,022
Діаметр робочої частини викрутки d , м	0,01
Густина сталі У10 ρ , кг/м ³	7810
Питома теплоємність сталі У10 c , Дж/(кг·К)	664
Початкова температура викруток t_0 , °С	20
Температура до якої потрібно нагріти робочі частини викруток під час гартування t_g , °С (К)	810 (1083)
Температура повітря в камері нагріву $t_{пг}$, °С	811
Температура масла t_m , °С	60
Температура до якої треба охолодити викрутки $t_{ох}$, °С (К)	190 (463)
Температура до якої треба нагріти під час відпуску t_v , °С (К)	340 (613)
Температура повітря в камері відпуску $t_{пв}$, °С	341

В загальному вигляді модель теплового процесу, розроблену в рамках данного дипломного проекту, можна умовно розбити на декілька окремих частин (блоків), а саме:

- блоки функцій, в яких змодельовано безпосередньо теплові процеси;

- блоки введення необхідних температур;
- блок умов переключення між процесами;
- блоки виведення графіків.

Далі буде розглянуто більш детально кожен з цих пунктів.

5.1 Аналіз блоків функцій, в яких змодельовано термічні процеси

5.1.1 Блок нагріву

Вміст блоку «proces nagrivu» який зображено на рисунку 5.1 зображено на рисунку 5.2. Данна частина моделі відповідає за моделювання процесу нагріву.

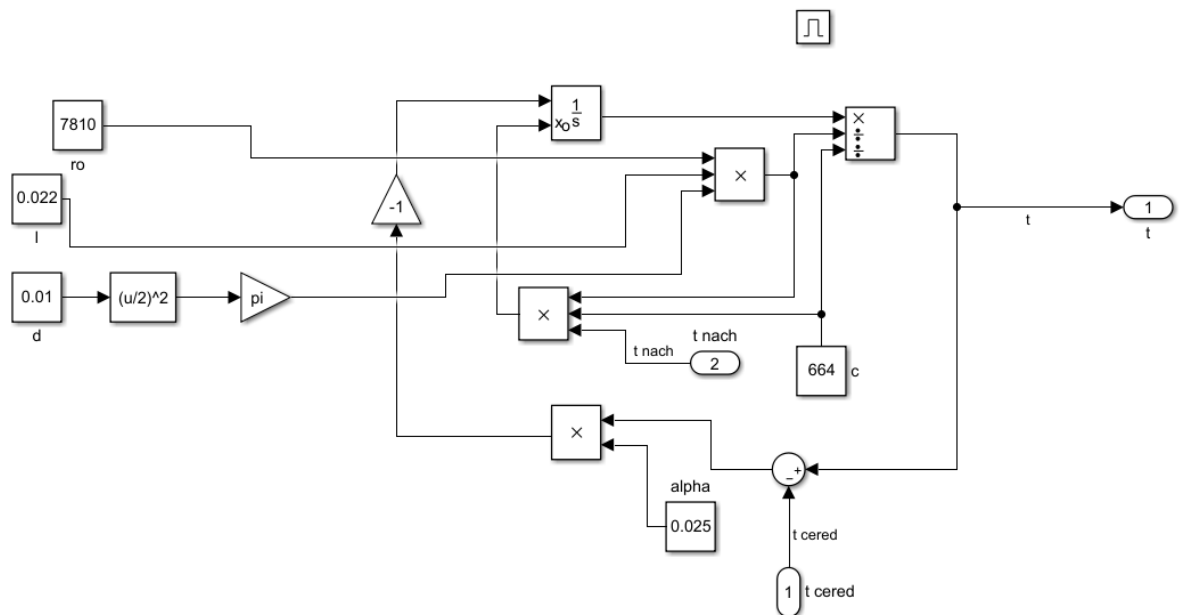


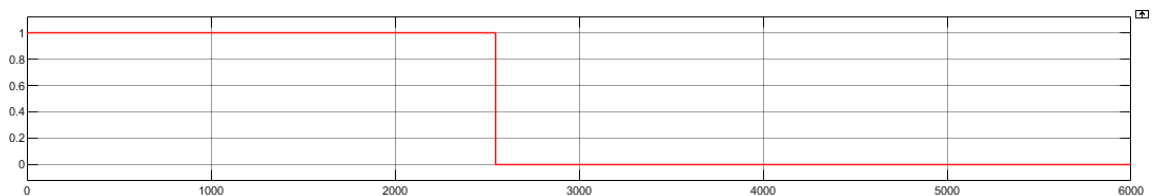
Рисунок 5.2 – Модель процесу нагріву

На вході цей блок приймає значення початкової температури виробу та температуру навколишнього середовища. На виході даний блок видає значення поточної температури виробу.

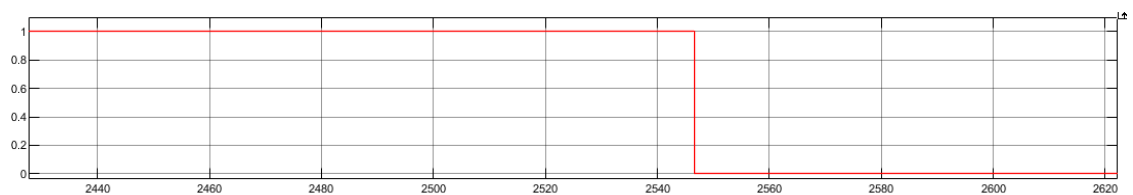
В цьому блоці обчислюється маса оброблюваного виробу. Ця маса знаходиться за формулами (4.1) та (4.2). Також, і найголовніше, тут змодельовано залежність температури від кількості теплоти, яка в свою чергу залежить від потужності. Дані залежності представлено в формулах (4.6) – (4.12). Сума

потужностей тут представлено лише в вигляді від'ємного значення відвідної потужності. Оскільки в данному випадку температура навколишнього середовища буде більша або дорівнювати поточній температурі викрутки, то відвідна потужність буде від'ємною, див. 4. Через це потрібно брати відвідну потужність з від'ємним знаком, тобто сумарна потужність буде додатньою, що свідчить про нагрівання виробу.

Даний блок працює в момент часу від 0 с до 2546 с, що можна побачити на рисунку 5.3. На цьому графіку високий рівень сигналу говорить про те, що блок працює; низький рівень сигналу – блок вимкнено.



а)



б)

Рисунок 5.3 – Графік стану роботи блоку нагріву: а) повний графік; б) приближений графік

Результат роботи данного блоку можна спостерігати на рисунку 5.4. Даний графік має нелінійну характеристику, а скоріше параболічну. Це обумовлено тим, що температура об'єкту нагрівання постійно змінюється. Оскільки викрутка постійно нагрівається, то змінюється різниця температури з повітрям, що призводить до зміни відвідної потужності. Відвідна потужність поступово зменшується та при рівності температур буде рівна нулю. Температуру повітря взято на 1 градус більше, щоб існувала можливість в

математичній моделі досягнути потрібного значення температури. Що зроблено успішно, про що свідчить графіки на рисунку 5.3 та рисунку 5.4.

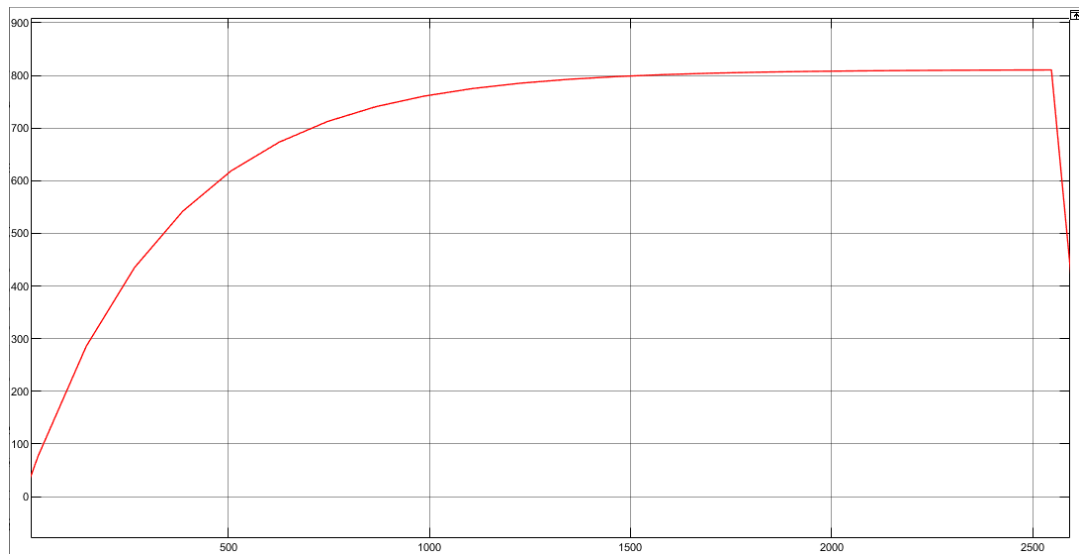


Рисунок 5.4 – Графік результату роботи блоку нагріву

5.1.2 Блок охолодження

Охолодження викруток в маслі змодельовано в блоці з назвою «proces oholod». Вміст блоку зображено на рисунку 5.5.

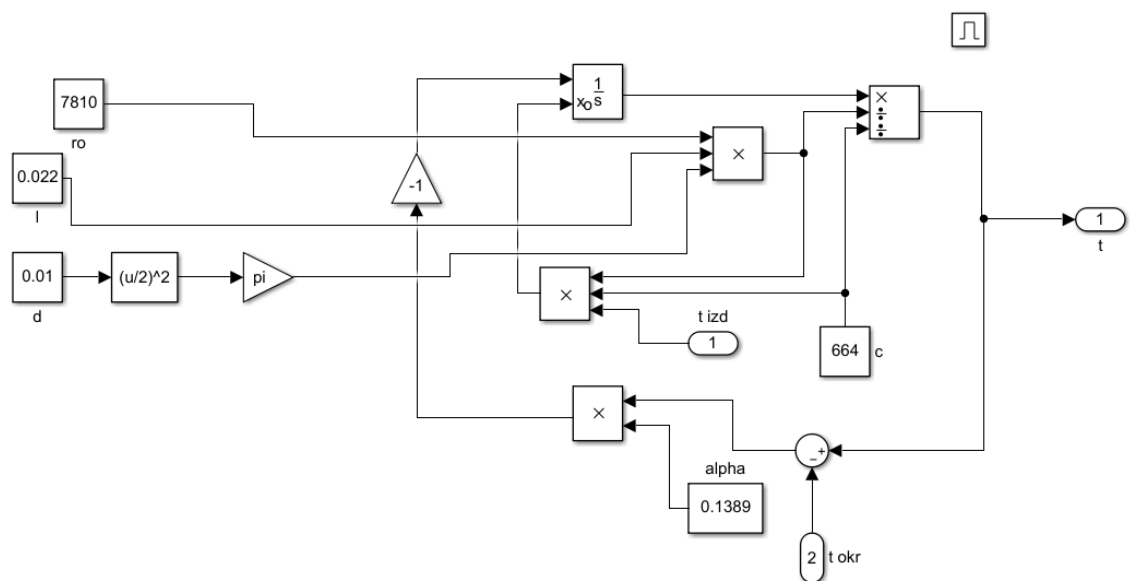


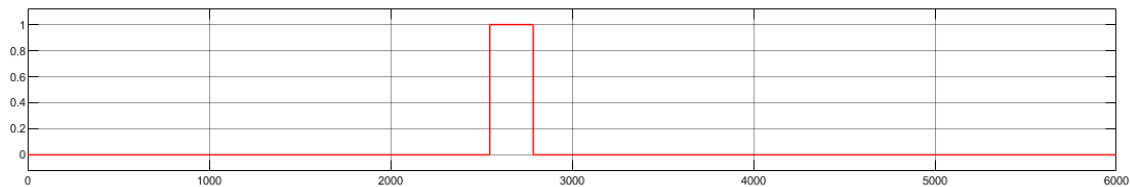
Рисунок 5.5 – Модель процесу охолодження

На вхід даного ж блоку подається значення температури масло, в якому охолоджується викрутка, та значення температури викрутки з минулого блоку. На вхід замість температури з минулого блоку можна б подавати стале значення, оскільки заздалегідь відомо температуру до якої буде нагрівати минулий блок. Проте для універсальності програми вирішено зробити таку версію моделі. На виході знову ж таки залежність температури викрутки від часу.

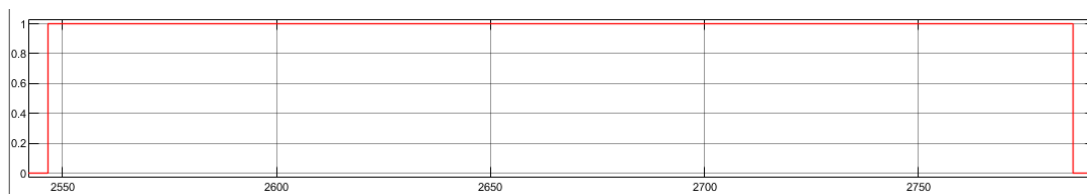
В цьому блоці знову ж таки реалізовані формули (4.1), (4.2) та (4.6) – (4.12). Однак в данному блоці температура середовища менша за температуру викрутки, тому відвідна потужність вже буде додатньою. При зміні знаку відвідна потужність стане від'ємною, що свідчить про охолодження виробу.

Головною відмінністю цього блоку є знак відвідної потужності та зміна коефіцієнту теплопровідності. Коефіцієнт змінюється, температура мутиться. Теплота через масло передається краще, про що свідчить збільшення коефіцієнту теплопровідності.

Блок охолодження працював в момент часу від 2546 с до 2786 с (рисунок 5.6). Цей блок є найменшим по часу роботи, але не по необхідності в процесі гартування. Як і в 5.1.1 високий рівень сигналу свідчить про роботу блоку, а низький про його бездіяльність.



а)



б)

Рисунок 5.6 – Графік стану роботи блоку охолодження: а) повний графік;
б) приближений графік

Результатом роботи цього блоку є охолодження з рівня температури минулого блоку до рівня температури 190 °C (в данній моделі). Результат роботи зображено на графіку 5.7.

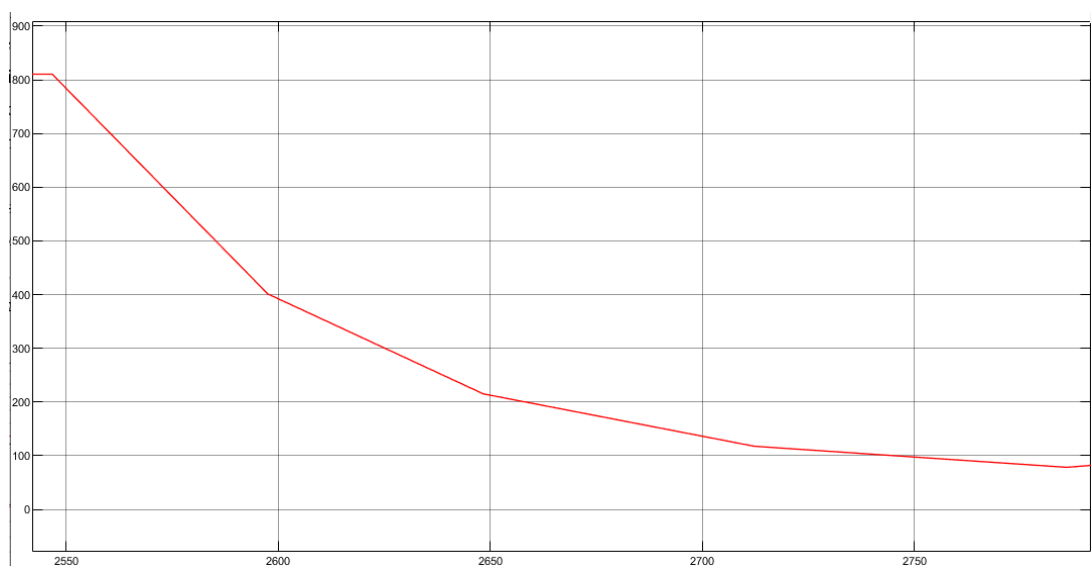


Рисунок 5.7 – Результат роботи блоку охолодження

Як результат роботи блоку охолодження взято частину загального графіку температури. Відповідно до графіку 5.6 результатом охолодження є ділянка зменшення температури. Охолодження проходить набагато швидше, оскільки

коефіцієнт теплопровідності масла більший за коефіцієнт теплопровідності повітря; різниця температур більше та менша амплітуда зміни температури.

5.1.3 Блок відпуску

Процес повторного нагріву, тобто відпуску, проходить в блоці «proces відпуску». Цей блок є завершальним етапом термообробки викруток. Вміст цього блоку зображено на рисунку 5.8.

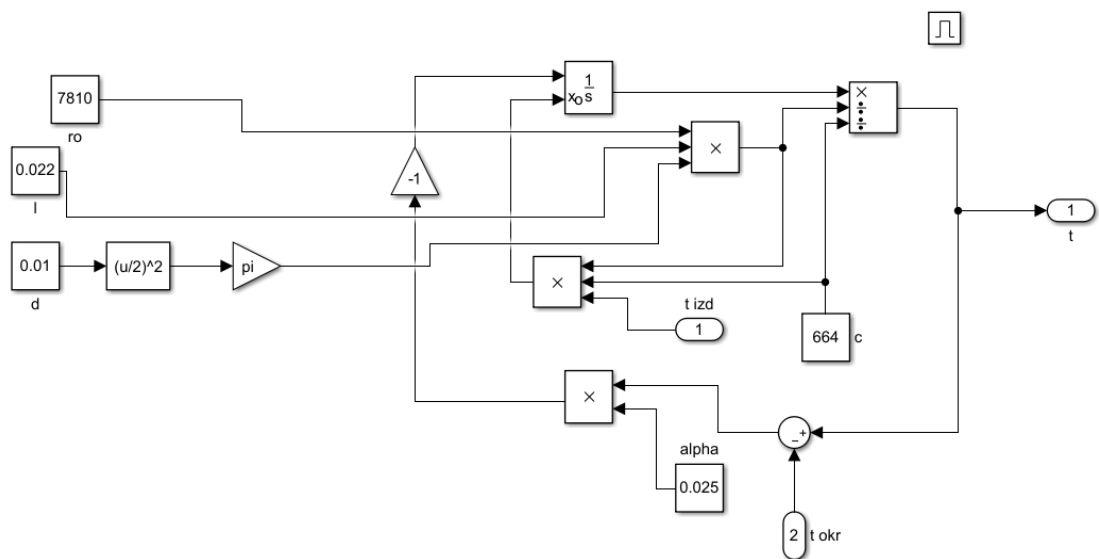
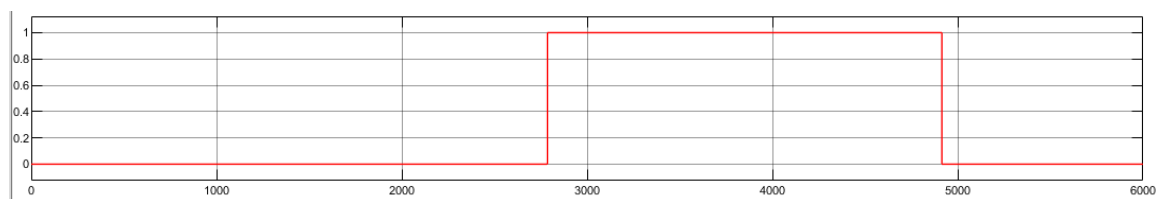


Рисунок 5.8 – Модель процесу відпуску

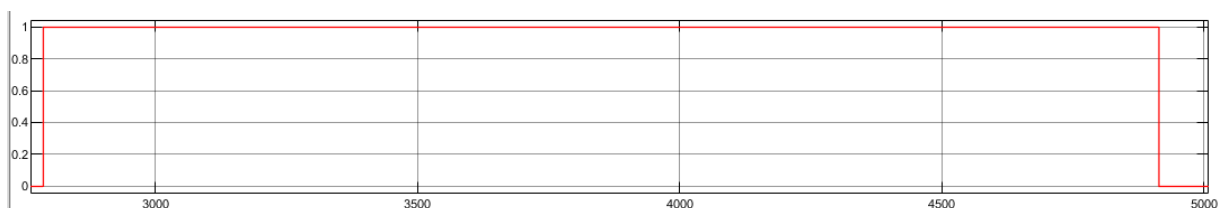
Як і в минулому разі одним з входів є значення температури з минулого блоку (тобто блоку охолодження), іншим же входом є значення повітря в камері. Виходом данного блоку вже є повна характеристика температурного процесу в залежності від часу.

Як і в двох минулих блоках тут реалізовано формули (4.1), (4.2) та (4.6) – (4.12). В данному блоці знову коефіцієнт теплопровідності стає рівним 0,025 як і в блоці нагріву, оскільки нагрів знову відбувається за рахунок теплопровідності повітря.

Даний блок працює в момент часу від 2786 с до 4914 с, як це показано на рисунку 5.9. Знову ж таки на данному рисунку високий рівень сигналу свідчить про роботу цього блоку, низький – бездіяльність.



а)



б)

Рисунок 5.9 – Графік стану роботи блоку відпуску: а) повний графік; б) приближений графік

Даний блок нагріває викрутки з температури минулого блоку до температури середнього відпуску. Значення данної температури наведено в таблиці 5.1. Нагрів знову проходить довше, оскільки нагрів відбувається через повітря. Результат роботи блоку відпуску зображено на рисунку 5.10.

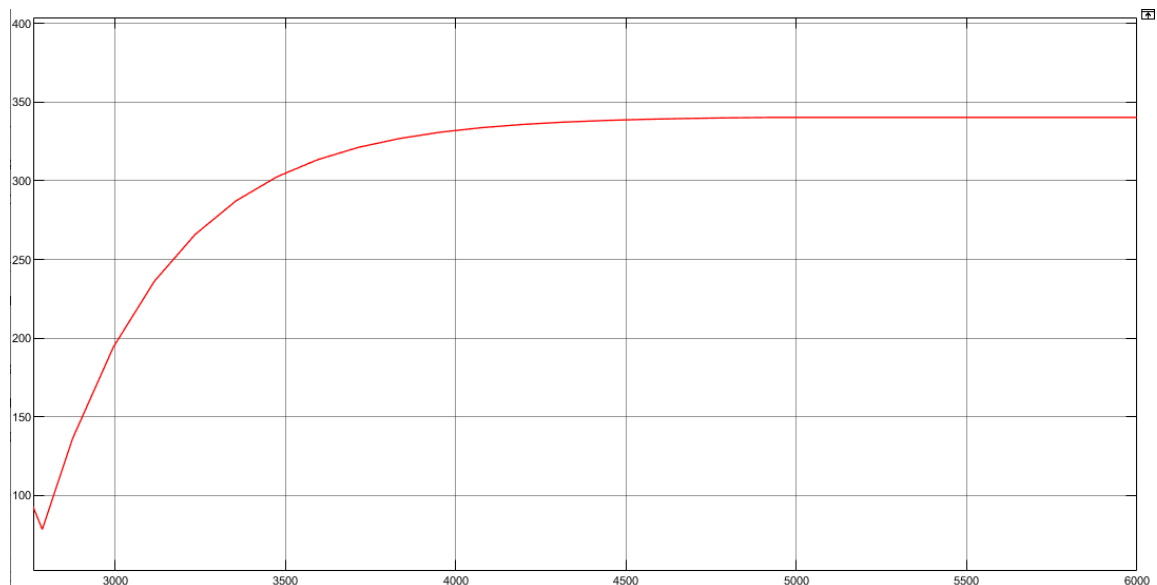


Рисунок 5.10 – Результат роботи блоку відпуску

5.2 Аналіз блоків введення необхідних температур

В представлений моделі Matlab/Simulink окремо виведено блоки введення потрібних температур. Приклад такого блоку зображено на рисунку 5.11.

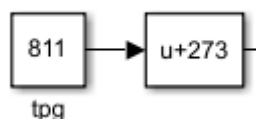


Рисунок 5.11 – Приклад блоку введення температур

По факту цей блок складається з двох простих елементів, а саме: блок введення константи та блок додавання до константи. Це зроблено з ціллю зручності вводу. В простий блок константи вводиться потрібна температури по шкалі Цельсія. Простий блок додавання до константи зроблений з ціллю переведення температури з шкали Цельсія в шкалу Кельвіна, оскільки всі обрахунки в системі проводяться по шкалі Кельвіна. Блоки введення температури в моделі використовуються чотири рази, а саме для:

- введення температури повітря в камері нагріву;
- введення початкової температури викруток;
- введення температури масла в камері охолодження;
- введення температури повітря в камері відпуску.

В теорії можна обійтися без цих блоків, можна вводити температуру відразу в Кельвінах або переводити в Кельвіни вже в блоках функцій.

5.3 Аналіз блоку умов переключення між процесами

Майже весь функціонал умов переключення між процесами реалізовано в блоці з назвою «condition». Вміст цього блоку зображено на рисунку 5.12. Данний блок містить початковий стан системи, проміжні стани ситеми та умови переходу між ними. Всі ці елементи на рисунку 5.12 позначені синім колом, прямокутниками та стілками, з умовами між ними, відповідно. Входом данного блоку є значення поточної температури викрутки, виходом є сигнал, який може приймати чотири значення (0; 1; 2; 3). Тобто в загальному вигляді цей блок перетворює температурний сигнал в умовний сигнал. Такий сигнал можна представити у вигляді двобітової послідовності. Однак цей блок містить недолік – блок перевіряє не поточне значення, а з невеликим запізненням. Для моделювання цей недолік не є великою незручністю, а для реальної системи такий блок взагалі не потрібен.

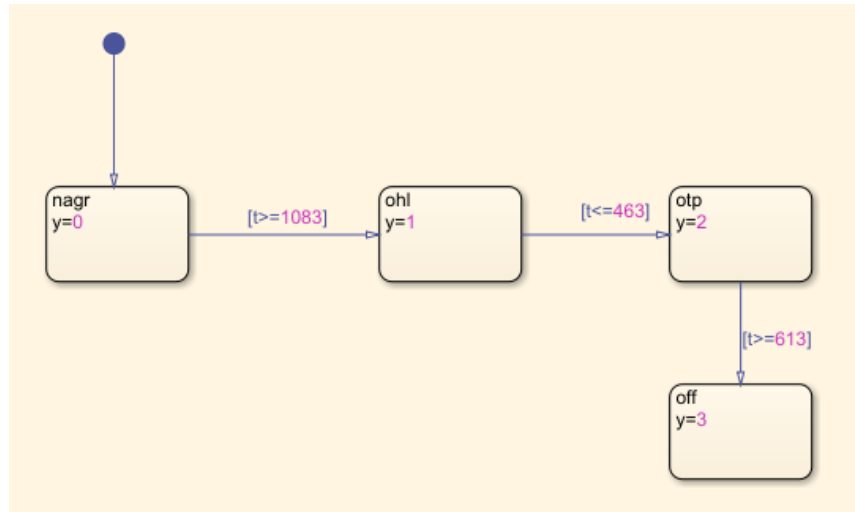


Рисунок 5.12 – Вміст блоку «condition» з умовами переходу між процесами

Далі наведено алгоритм роботи цього блоку. При початковому запуску моделі система не виконує будь-які дії. Оскільки немає умови переходу між початковим станом та станом нагрівання, то система відразу приймає стан нагрівання. В данному стані на вихід подається сигнал «0». При досягненні температурою рівня в 1083 K (810 °C) або більше система переходить в другий стан – стан охолодження. В цьому стані на виході подається сигнал «1». Далі при охолодженні виробу до температури 463 K (190 °C) або менше система перейде в наступний стан – стан відпуску. Стан відпуску є останнім станом з ненульовою функціональністю. Виходом цього стану є сигнал «2». При досягненні рівня температури в 613 K (340 °C) система переходить в останній стан. Цей стан відповідає за вимкнення системи. Оскільки при досягненні рівня в 340 °C процес гартування можна вважати завершеним, то виникає необхідність зупинити виконання моделі. В данному стані на вихід подається сигнал «3», який не оброблюється ніяким чином і зроблений лише для того, щоб модель не виконувала будь-які дії з певним функціоналом. Цифри на виході є умовними та їх можна замінити будь-яким іншими значеннями. Більш наглядно данний алгоритм наведено на кресленику IA51.200БАК.005 ДЗ.

Однак назвати лише блок «condition» назвати повноцінним блоком умов переключення між процесами не є правильним. Оскільки він на виході видає просто одну з чотирьох цифр, то потрібно ще якось обробити значення цих цифр та визначити який функціонал треба ввімкнути. Тому повним блоком умов переключення між процесами можна назвати частину моделі зображену на рисунку 5.13.

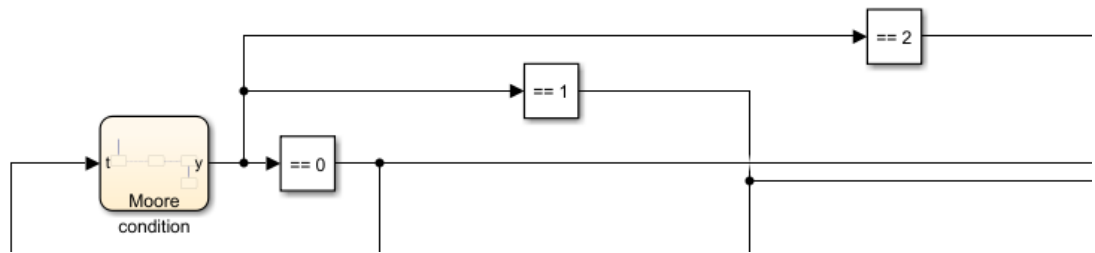


Рисунок 5.13 – Повний блок умов переключення між процесами

На рисунку 5.13 окрім блоку «condition» ще зображено три простих елементи – блоки порівняння з константой. Блок порівняння з константой перевіряє вхідний сигнал з вказаною константою та на вихід подає або булевий сигнал (boolean) або восьмибітовий беззнаковий цілочисельний масив (unit8). В моделі цими блоками перевіряється вихід сигналу з блоку «condition» всього на три значення – «0», «1» та «2». Виходи блоків підводяться до блоів функцій розглянутих в підрозділі 5.1. В данному випадку булевий вихід блоків порівняння з константою є сигналом включення для блоків функцій. При отриманні на вході сигналу «0» нижній блок на виході має високий рівень сигналу (логічну 1; true), два інші блоки мають на виході низький рівень сигналу (логічний 0; false). При такій комбінації починає працювати блок функції розглянутий в підрозділі 5.1.1.

Така комбінація з блоку умовних переходів та трьох блоків порівняння з константою дозволяє уникнути ситуації, коли буде одночасно працювати два блоки функцій та в той же час реалізувати повну зупинку функціоналу системи по досягненні потрібної кінцевої температури.

5.4 Аналіз блоку виведення графіків

Блоком виведення графіків можна вважати два структурні елементи з назвою «Score». Однак це не є повністю правильним. Повний блок елементів для виведення графіків зображено на рисунку 5.14.

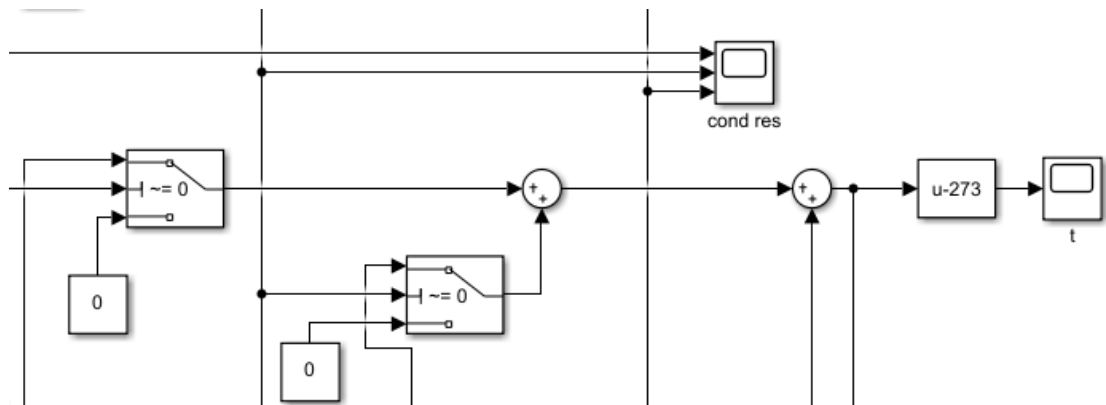


Рисунок 5.14 – Повний блок елементів для виведення графіків

На рисунку 5.14 окрім двох елементів «Score» також знаходяться два свіча та блок додавання до константи. Блок додавання до константи переводить значення температури з шкали Кельвіна в шкалу Цельсія. Основним функціоналом свічей є об'єднання виводів тих блоків функцій з розділу 5.1 в один графік. Свічі знаходяться лише після блоків «proces nagrivu» та «proces oholod». Умовою переключення свічей є відмінність сигналу відносно нуля; джерелом сигналу – сигнал включення відповідної функції. Входом який задовільняє умову є вихід відповідного блоку функції, входом який не задовільняє умову є нуль. Оскільки кожен блок функцій розглянутих в розділі 5.1 працює тільки коли на нього подається логічна 1, то на виході блоку подається значення оброблене системою. Однак коли на функцію подається логічний 0, то на виході можна спостерігати або нуль або останнє оброблене значення. Нуль можна спостерігати коли функція ще не вимкалась з початку відлажування. Тому таке налаштування свіча дозволяє скинути значення виводу функції після її вимкнення в нуль. Розташування аналогічного свіча після 3 блоку функції не є

доречним. Оскільки третій блок функцій є завершальним, то доки він не ввімкнеться він буде виводити нуль, а скидування останнього значення не є доречним. Елемент «Score» з назвою «t» виводить кінцевий графік залежності температури від часу, як це показано на рисунку 5.15.

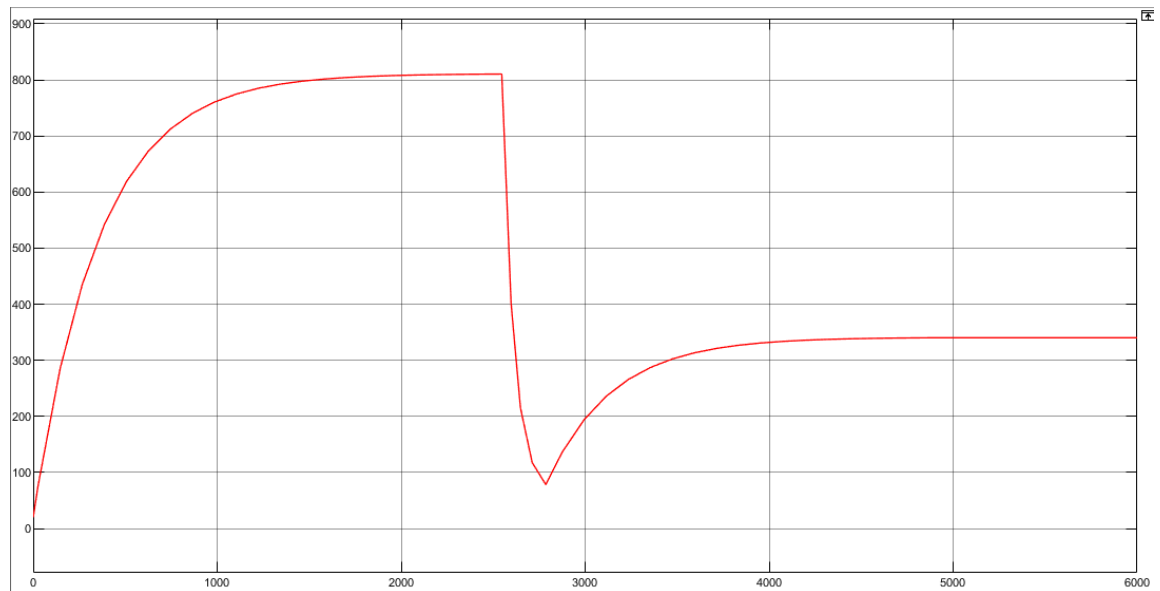


Рисунок 5.15 – Повний графік залежності температури від часу

Інший елемент «Score» представлений в цій моделі з назвою «cond res» виводить булевий сигнал оброблений блоком умов переключення між процесами, розглянутий в розділі 5.3, в залежності від часу. Частково вивід цього блоку можна спостерігати в розділі 5.1, повна характеристика зображена на рисунку 5.16.

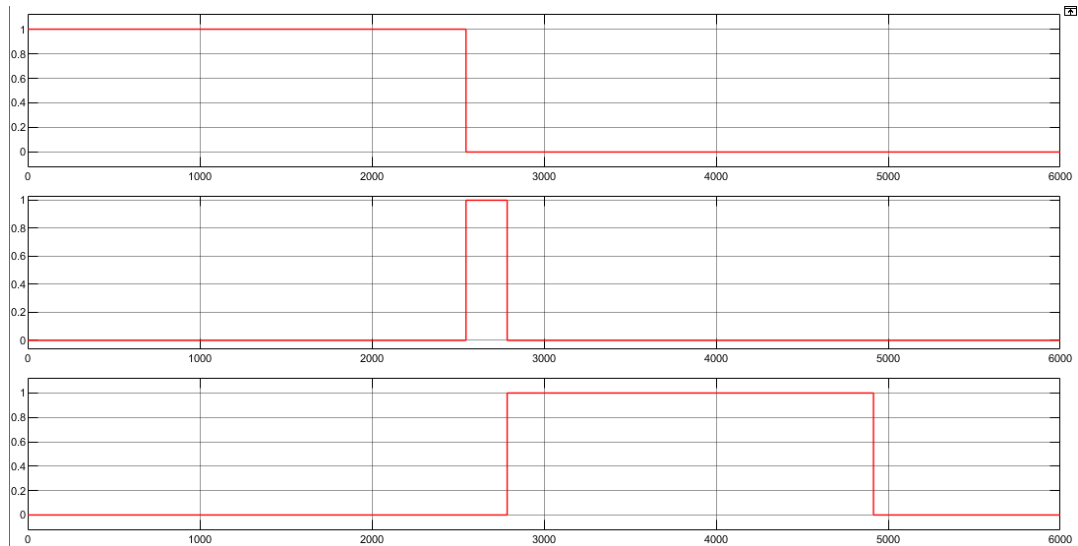


Рисунок 5.16 – Графік булевого сигналу в залежності від часу

5.5 Розрахунок протяжності печі

Як зазначено вище, моделювання в Matlab/Simulink зроблено для знаходження часу перебування викруток на окремих частинах печі. На графіку 5.16 наведені потрібні для обрахунків часові значення, а саме:

- зона нагріву: від 0 с до 2546 с, 2546 с;
- зона охолодження: від 2546 с до 2786 с, 240 с;
- зона відпуску: від 2786 с до 4914 с, 2128 с.

Як зазначено в розділі 1.1 печі опору безперервної дії при поєднанні в агрегат повинні мати однакову продуктивність. В данному випадку це значить, що окремі етапи виробництва повинні мати однакову швидкість руху конвеєру. Для обрахунків достатньо знайти один раз швидкість та через неї знайти потрібні довжини різних етапів виробництва. Оскільки етап нагріву найдовший, то вирішено обрахувати швидкість конвеєру через нього. Для цього приймемо значення довжини печі нагріву $L_{\text{наг}}$ в 15 м. Тому швидкість руху конвеєра буде рівна:

$$v = \frac{15 \text{ м}}{2546 \text{ с}} \approx 0.0058916 \frac{\text{м}}{\text{с}} \quad (5.1)$$

Так як вже відома швидкість, то виникає можливість обрахувати довжини інших двох етапів:

$$L_{\text{охл}} = 0.0058916 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 240 \text{ с} = 1,413984 \text{ м} \quad (5.2)$$

$$L_{\text{від}} = 0.0058916 \frac{\text{м}}{\text{с}} \cdot 2128 \text{ с} = 12.5373248 \text{ м} \quad (5.3)$$

де $L_{\text{охл}}$ — довжина зони охолодження;

$L_{\text{від}}$ — довжина зони відпуску.

Довжину з такою точністю брати не є доречним, тому значення довжин зон охолодження та відпуску округлено до одного знаку після коми. Отже піч має такі довжини:

- зона нагріву: 15 м;
- зона охолодження: 1,4 м;
- зона відпуску: 12,5 м.

6 ВИБІР ОКРЕМИХ ВУЗЛІВ ТА ЕЛЕМЕНТІВ

6.1 Вибір контролера

Вибір контролера є одним із основних етапів вибору засобів автоматизації певної системи, адже від цього залежить підбір давачів, виконавчих механізмів та іншого обладнання, хоча більшість контролерів є сумісними з більшістю пристроїв. В даному випадку задумувалося використовувати контролер, що міг би бути РС сумісним. Також одним із задумів використати такий контролер, який міг би бути об'єднаний в мережу з іншими контролерами, оскільки дана система буде використовуватися не як автономна, а як лише один з етапів виробництва. В такому випадку потрібно, щоб він був сумісним з іншими контролерами. Ще одним задумом його підключення через Ethernet інтерфейс до АРМО, що дало б можливість з його допомогою напряду спілкуватися з оператором. Зважаючи на всі ці вимоги був знайдений ідеальний варіант такого контролера, що задовольняв усім вимогам і був дешевший, ніж контролери серії Siemens. Таким контролером став ADAM – 8000, який зображено на рисунку 6.1. Це як і потрібно РС сумісний контролер, що може працювати за протоколами Profibus, Modbus, а також в CAN мережах. Маються виконання з базовим модулем з Profibus, Modbus, або Ethernet інтерфейсами та додатковими слотами для підключення модулів введення та виведення.



Рисунок 6.1 – Зовнішній вигляд контролера ADAM-8000

Такий контролер зможе забезпечити всі потрібні функції, також до нього можна підключити модулі аналогового вводу Adam-8231-1BD60, аналогового

виводу Adam-8232-1BD50, цифрового вводу Adam-8221-1BH10 та цифрового виводу Adam-8222-1BH10.

6.2 Вибір аналогового модуля введення

Вибір такого модуля робиться залежно від використовуваного контролера, в даному випадку вони мають бути сумісними з ADAM – 8000. Одним з таких модулів є Adam – 8231 – 1BD60, який зображено на рисунку 6.2.



Рисунок 6.2 – Зовнішній вигляд модуля Adam – 8231 – 1BD60

Цей модуль має такі характеристики:

- 1) 4 ізольованих канали аналогового вводу;
- 2) Має аналоговий струмовий вхід від 4...20мА;
- 3) Точність каналу $\pm 0.2\%$;

6.3 Вибір аналогового модуля виведення

Вибір такого модуля робиться залежно від використовуваного контролера, в даному випадку вони мають бути сумісними з ADAM – 8000. Одним з таких модулів є Adam – 8232 – 1BD50, який зображено на рисунку 6.3.



Рисунок 6.3 – Зовнішній вигляд модуля Adam – 8232 – 1BD50

Цей модуль має такі характеристики:

- 1) 4 аналогові вихідні канали;
- 2) Вихідні сигнали В, мА;
- 3) Вихідний діапазон $\pm 10\text{В}$, $1\ldots 5\text{В}$, $0\ldots 10\text{В}$; $\pm 20\text{мА}$, $0\ldots 20\text{мА}$, $4\ldots 20\text{мА}$;
- 4) Точність каналу $\pm 0.2\%$;

6.4 Вибір дискретного модуля введення

Вибір такого модуля робиться залежно від використовуваного контролера, в даному випадку вони мають бути сумісними з ADAM – 8000. Одним з таких модулів є Adam – 8221 – 1BH10.

Цей модуль має такі характеристики:

- 1) 16 дискретних вхідних канали;
- 2) Вхідна напруга 24 В;

Цей модуль має вигляд, як на рисунку 6.4.



Рисунок 6.4 – Зовнішній вигляд модуля Adam – 8221 – 1BH10

6.5 Вибір дискретного модуля виведення

Вибір такого модуля робиться залежно від використовуваного контролера, в даному випадку вони мають бути сумісними з ADAM – 8000. Одним з таких модулів є Adam – 8222 – 1BH10, який зображено на рисунку 6.5.

Цей модуль має такі характеристики:

- 1) 16 дискретних вихідних каналів;
- 2) Вихідна напруга та струм, 24В та 2А відповідно;



Рисунок 6.5 – Зовнішній вигляд модуля Adam – 8222 – 1BH10

6.6 Вибір мотору

Одним з найголовніших елементів в автоматизованій системі керування процесом гартування робочих частин викруток є вибір мотору, який буде приводити в рух конвеєр з викрутками. Для цього був обраний циліндричний мотор-редуктор серії DG фірми BAUER, який зображено на рисунку 6.6.



Рисунок 6.6 – Мотор-редуктор серії DG фірми BAUER

Великою популярністю користується черв'ячний мотор редуктор, тому що завдяки своїй конструкції (зубчасте колесо і так званий черв'як) даний редуктор може досить швидко змінити крутний момент.

Швидкість редуктора даного виду залежить також і від його типу. Мотор редуктор черв'ячний може бути одно- або двоступінчастим.

Вибраний нами мотор-редуктор компактний і економічний, ресурс якого до 18500 Нм забезпечує тривалу експлуатацію і застосування конструкційної висоти з високим ККД в найскладніших умовах. Нижче наведено короткі технічні характеристики мотору:

- діапазон потужності від 0,03 кВт до 45 кВт;
- 13 типорозмірів редукторів з навантажувальною здатністю від 20 Нм;
- високий ККД завдяки двоступеневої базової конструкції;

- високий ступінь захисту IP 65 в стандартній комплектації;
- зручний в обслуговуванні, вбудоване гальмо.

6.7 Вибір датчика температури

Датчики температури потрібні для керування рівня температури повітря в печі нагріву та печі відпуску та для контролю температури масла.

Датчики температури, які будуть розміщені в печах, повинні витримувати високу температуру, включно до 900 °С, протягом довгого періоду часу. Одним з таких датчиків є датчик ТПП Метран-211, який зображено на рисунку 6.7 [14]. Це термоелектричний перетворювач, який використовується для вимірювання температури в нейтральних або окислених газових середовищах. Такі датчики складаються з двох різних провідників. При нагріванні одного з зпаєв виникає струм в електричному цільці. Нагріваємий спай називається робочим спаєм, а інший – вільним спаєм.



Рисунок 6.7 – Зображення датчика ТПП Метран-211

Короткі технічні характеристики:

- діапазон вимірювальної температури: від 0 °С до 1300 °С;
- номінальна статична характеристика: S, R;
- номінальна температура вимірювання: 1000 °С;
- клас допуску: 2;
- середній ресурс: при номінальній температурі виміру не менше 6000 годин;
- методика перевірки: відповідно до ГОСТ 8.338.

Однак такий датчик не є доречно використовувати для вимірювання температури масла, та, що саме головне, не є можливим. Тому для таких цілей потрібен датчик, який зможе вимірювати температуру в рідинах та достатньою максимальною температурою в 150 °С. Для таких цілей обрано термоперетворювач опору ТСМ Метран-204, який зображено на рисунку 6.8 [15]. Принцип дії термоперетворювачів опору заснований на зміні електропровідності провідників або напівпровідників при зміні температури цих провідників або напівпровідників. Так при відомій такій залежності та опору провідника в поточний час можна визначити поточну температуру. Термоперетворювач опору ТСМ Метран-204 призначений для вимірювання температури газоподібних або рідких хімічних неагресивних середовищ, або агресивних не руйнуючих захистний матеріал. Короткі технічні характеристики:

- діапазон вимірювальної температури: від мінус 50 °С до 180 °С
- номінальна статична характеристика: 100М;
- клас допуску: С;
- середній ресурс: не менше 5 років.

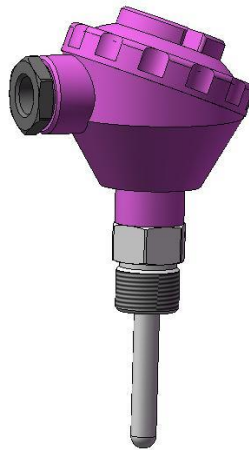


Рисунок 6.8 – Зображення датчика TCM Метран-204

6.8 Вибір деяких інших елементів

Елементом без якого спроектована автоматизована система керування процесом гартування робочих частин викруток не може працювати є конвеєр. Конвеєр слід вибирати з окремими захватами під кожен стержень викрутки. Конвеєр повинен мати можливість легко монтуватись в будь-якому напрямку. Нажаль інформація про виробників таких конвеєрів не є в відкритому доступі.

Для етапу охолодження є важливим елементом підтримування потрібної температури та «свіжості» масла. Для підтримування «свіжості» масла достатньо повністю оновлювати вміст резервуару з маслом. Довжина цього резервуару обрахована в розділі 5.5, а ширина та глибина резервуару залишається на вибір виробника. Головне, щоб глибина резервуару була не менше довжини нагріваючої частини викрутки. Оскільки розмір резервуару може змінюватись в залежності від реалізації, тому вибір насоса та діаметру трубопроводу залежить від виробника.

Реалізація охолодження також залежить від конструкторських рішень виробника та об'єму резервуару. Однак головна вимога це підтримування рівня

температури на рівні 60 ± 10 °С. В теорії можна обійтись і без охолодження. Але тоді треба в декілька разів збільшити швидкість оновлення масла в резервуарі.

					ІА51.200БАК.005 ПЗ	Лист
						66
	Лист	№ документа				

ВИСНОВОК

В рамках дипломного проекту розглянуто методику виготовлення викруток та знайдено недолік властивий всім викруткам. А саме здатність викруток зламуватись або «злизуватись» при довготривалому використанні. Тому прийнято рішення додати в процес виготовлення викруток етап гартування.

Проаналізовано безпосередньо процес гартування та виявлено недоліки, спричинені недотриманням норм під час процесу гартування. Через це вирішено процес гартування автоматизувати.

Проаналізовано існуючі варіанти печей для термообробки металу, особливості їх конструкцій, переваги та недоліки. В результаті аналізу обрано конвеєрну піч безперервної дії з підвісним конвеєром для реалізації автоматизованої системи керування процесом гартування.

Також проаналізовано найпоширеніші модифікації викруток. Вирішено, що дана система керування підходить під всі варіанти шліців та майже всі модифікації конструкцій. Винятками є специфічні конструкції, наприклад ударно-поворотна викрутка.

Проаналізовано фізико-хімічні властивості сталі під час гартування. В результаті аналізу виявлено, що після гартування для викруток є дуже важливий етап відпуску. При відпуску виявлено недолік який властивий викруткам, зробленим з хромованадієвої сталі. Через це обрано вуглецева сталь У10.

Розраховано та побудовано модель теплового процесу в пакеті програм Matlab/Simulink. Завдяки моделі знайдено потрібний час гартування та геометричні розміри печей.

Обрано потрібні окремі елементи для реалізації дипломного проекту.

Отже в рамках данного дипломного проекту змодельовано та зроблено автоматизовану систему керування процесом гартування для інтеграції в процес виробництва викруток на виробництві.

ПЕРЕЛІК ІНФОРМАЦІЙНИХ ДЖЕРЕЛ

1. Печи для термообработки, вакуумные, электрические, топливные, шахтные печи термообработки [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://eziactionpumps.ru/pechi-dlya-termoobrabotki/> – Назва з екрану. 30.05.2019.
2. Типы и конструкции печей непрерывного действия [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://lektsii.com/1-21821.html> – Назва з екрану. 03.06.2019.
3. Кисленков В. В. Оборудование термических цехов [Текст] : Навчальний посібник/ В. В. Кисленков. СПб, СПбГПУ, 2011, 142с.
4. Отвёртка [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99792812> – Назва з екрану. 03.06.2019.
5. Как делают отвёртки Jonnesway [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://gvozdoder.com/kak-proizvodyat-otvyortki-jonnesway/> – Назва з екрану. 03.06.2019.
6. Закалка (металлургия) [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=99286928> – Назва з екрану. 28.05.2019.
7. Технология закалки и отпуска стали [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://elsvarkin.ru/tehnologiya/tehnologiya-zakalki-i-otpuska-stali/> – Назва з екрану. 28.05.2019.
8. Отпуск стали [Электронный ресурс] : Режим доступа: https://markmet.ru/tehnologiya_metallov/otpusk-stali – Назва з екрану. 28.05.2019.
9. Отпуск стали – почему материал укрепляется? [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://tutmet.ru/otpusk-stali-vysokij-nizkij-nagruzkoj-vidy.html> – Назва з екрану. 28.05.2019.
10. Диаграмма состояния сплавов железо-углерод [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=96786962> – Назва з екрану. 01.06.2019.
11. Аустенит [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://ru.wikipedia.org/?oldid=95498786> – Назва з екрану. 01.06.2019.

12. Отпуск сталей [Электронный ресурс] : Режим доступа: <https://heattreatment.ru/otpusk-stalej> – Назва з екрану. 03.06.2019.

13. Методичні вказівки до виконання комп'ютерного практикуму з дисципліни «Моделювання процесорів і систем» [Текст] / Уклад.: В.А. Жеєрбко. – К.: НТУУ «КПІ», 2012. – 78 с.

14. Преобразователи термоэлектрические ТПП Метран-211 и ТПР Метран-212 [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.td-utr.ru/production/datchiki-temperature/preobrazovateli-termoelektricheskie-tpp-metran-211-i-tpm-metran-212> – Назва з екрану. 11.06.2019.

15. Термопреобразователи сопротивления медные ТСМ Метран-203 (50М) и ТСМ Метран-204 (100М) [Электронный ресурс] : Режим доступа: <http://www.td-utr.ru/production/datchiki-temperature/termopreobrazovateli-soprotivleniya-mednye-tsm-metran-203-50m-i-tsm> – Назва з екрану. 11.06.2019.